ISSN 2664-5289



ENERGETICS
TECHNICS
MECHANICS
+ CONTROL





Volume 10, No.1

BAKU 2020



Azerbaijan State Oil and Industrial University



Azerbaijan Scientific-Research & Design Prospecting Power Engineering Institute



The State Agency of Alternative and Renewable Energy Sources

ELECTROENERGETICS, ELECTROTECHNICS ELECTROMECHANICS + CONTROL

Scientific – Industrial Journal

UOT 621.311

SMART VƏ MİCRIOQRİD - GLOBAL TRENDLƏR VƏ AZƏRBAYCAN ELEKTROENERGETİKA SİSTEMİNİN ÇEVİKLİYİ

Yusifbəyli N.A*., Nəsibov V., Balazadə İ.M***

***Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Unversiteti**

**** Azərbaycan Elmi-Tədqiat, Lyihə və Axtarış Energetika instututu**

Anotasiya. Məqalədə elektroenergetika sistemlərinin müasir inkişaf tendensiyaları fonunda smartşəbəkə və onun ayrlmaz hissəsi olan mikroşəbəkə sistemlərinin sistemin çevikliyinə təsiri nəzərə alınmaqla XXI əsr elektroenergetika sisemlərinin transforomasiya məslələrinə konseptual baxılır və mikroşəbəkələrin sosial-iqtisadi əsasları nəzərdən keçirlir. Eləcə də Azərbaycan elektroenergetika sisteminin müasir çağrışları qarşılaması üçün tövsüyələr təqdim olunur.

Açar sözlər. Smartqrid, mikrogrid, sistem qəzası, enerji təhlükəsizliyi, paylanmış generasiya mənbələri, Mühüm Fundamental İstqamət, Kommunikasiya və koordinasiya sistemləri

Giriş

Elektroenergetika sistemi (EES) ifrastrukturu istənilən səneyələşmiş ölkə iqtisadiyyatının mühüm sektorudur. EES elementlərinin köhnəlməsi və elektrik enerjisinə olan tələbatın daima artması sistem/şəbəkə infrastrukturunun müxtəlif səbəblərdən yaranan həyacanlandırıcı təsirlərə qarşı həssaslığını artırır. Təbii fəlakət və digər səbələrdən nəticəsində yarnan sistem qəzaları (blackout) EES təsərrüfatına dəyən ziyanlar daha geniş miqyaslı olur. Son illərdə, ABŞ Enerji Departamentinin təqdim etdiyi hesabatlara əsasən, enerjinin ötürülməsində baş vermiş fasilələr (5 dəqiqədən artıq) nəticəsində ölkə iqtisadiyyatına hər il 26 milyard ABŞ dollarından artıq ziyan dəyir [1]. Enerji təminatında yaranan fasilələr smart (intellektual) və mikro şəbəkələrin (mikrogrid), eləcədə paylanmış generasiya mənbələrinin (PGM), enerji akkumulasiya (saxlanc) sistemlərinin, qeyri mərkəzləşmiş, paylanmış idarəetmə sistemlərinin əhəmiyyətini daha da artırır.

Paylanmış generasiya mənbələrinin və müasir paylanmış şəbəkə strukturunun genişlənməsi EES-nin çevikliyinin təmin olunması və qəzadan sonrakı rejimlərin bərpa olunması konsepsiyasını köklü surətdə dəyişmişir.

Smart və mikroşəbəkənin yaranması (i) PGM və akkumulasiya texnologiyası, (ii) istehlakçıların proaktiv tələb-təklif reaksiyası və (iii) enerji mənbələri və şəbəkə strukturunun qeyri-mərkəzləşmiş idarə etmə fəlsəfəsinin formalaşmasını zəruri etmişdir.

Texniki baxımdan PGM tətbiqi yeni "hadisə" deyil, eyni zamanda qeyd olunmalıdır ki, artıq enerji təchizatında paylanmış generasiya daha az xərc tələb edən üsula çevrilmişdir. Əlbətdə, ilk növbədə son illərdə bərpa olunan enerji mənbələrindən (BEM) istifadə texnolojiyalarının kapital (capex) və əməliyyat (opex) xərclərinin kəskin azalması, informasiya – komunikasiya texnologiyalarının EES-nin sistemlərinin

idarə olunmasında tətbiqinin genişlənməsi və böywk həcmli informasiyalardan (big data) faydalı məlumatların əldə olunma imaknlaının artması PGM-nin rəqabət qabiliyyətini artırmışdır [2]. Bu baxımdan, BEM-nin ttəbiqinin genişlənməsi fonunda sistem elementlərinin intlektual avadanlıqlarla əvəz olunması elektroenergetika sistemlərinin çevikiyinin təmin olunmasının yeni konsepsiyasının işlənməsini tələb edir.

1. Elektroenergetika sistemlərinin inkişafının tarixi əsasları və qlobal trendlər

İnsan sivilizasiyasının yaranması enerjinin bu və digər forma və potensiallı enerjinin istifadəsi ilə sıx əlaqəli olmuşdur.

Bu müddət ərzində insan sivilizasiyası tərəfindən istifadə olunan enerjinin yalnız mənbəyi deyil, həmçinin həcmi, forması və potensialı da dəyişmişdir. İstehlak olunan enerjinin həcm və parametrlərinin dəyişməsində təyinedici faktor yer kürəsi əhalisinin və insan fəaliyyətinin iqtisadi ukladının dəyişməsi olmuşdur. Iqtisadi ukladın tipi dedikdə, onun subyektləri və energetik resurslar da daxil olmaqla iqtisadi resursların növləri arasında təsərrüfat münasibətləri başa düşülür. [3]

Bəşəriyyətin keçmiş və hazırkı istehsalat-təsərrüfat fəaliyyətinin analizi şərti olaraq iqtisadi ukladı beş klassik tipə bölür.

Cədvəl 1-də göründüyü kimi, hər bir iqtisadi tipə, daima keyfiyyətcə sadə formadan daha universal formaya dəyişməsi ümumi xassəyə malik olan müəyyən iqtisadi ukladın parametrləri uyğundur.

Dünyada enerji tələbatı, onun istehsal texnologiyası və xarakteri əsaslı dəyişikliyə məruz qalmaqdadır. Enerjinin istənilən yerdə və istənilən həcmdə əldə etmək imkanıları formalaşmaqdadır. Son illərin enerji mənbələrinin dinamikası növbəti onilliklərdə enerji tələbatının əsasən bərpaolunan resurslar hesabına təmin olunacağı haqqında fikir söyləməyə imkan verir. Bu mərhələ universal iqtisadiyyat ukladında mükün ola bilər. Yeni istehsal, nəql, paylanma, istehlak və enerjinin akkumulyasiya texnologiyaları bərprolunan enerji mənbələrinin geniş həcmlərdə tətbiqini şətləndirəcəkdir. Bu mülahizələrin əsasını insan fəaliyyətinin intelektuallaşdırılması və rəqamsallaşdırılması təşkil edir.

Eyni zamanda, ölkələrin iqtisadi inkişafı sənaye iqtisadiyyatı ukladının tələbləri energetika qurğularının vahid gücünün artırılmasını və bu güclərin istehlak mərkəzlərinə ötürülməsini təmin etmək məqsədi ilə yüksək gərginlikli ötürücü sistemlərin yaradılmasını zəruri etmişdir. Buna generasiya mənbələrinin müxtəlif dinamik xassələrini və fərqli idarəetmə sistemlərini əlavə etmək lazımdır.

Müasir dövrdə real vaxt (on-line) rejimində fəaliyyət göstərən və vahid strateji məqəsdi (istehlakçıları etibarlı və keyfiyyətli elektrik enerji ilə təmin olunmasını) həyata keçirən müasir EES-nin texnoloji strukturu, özündə müxtəlif məkanlarda yerləşən, qarşılıqlıəlaqəli və qarşılıqlıtəsirli müxtəlif çoxsaylı texniki sistemlərdən ibarətdir. Digər tərəfdən qeyd olunmalıdır ki, təşkilatı baxımdan texniki sistemlər müxtəlif təsərrüfat subyektlərinin (generasiya, ötürmə, paylanma) ayrılmaz hissələridirlər.

Texnoloji iqtisadi maraqların ziddiyyət təşkil etdiyi şəraitdə, müasir EES idarə olunması dispetçer personalı üçün mürəkkəb konseptual psixoloji məsələ olaraq qalır. Dispetçer personalı tərəfindən cəld dəyişən proseslər və çoxsaylı lokal və sistem xarakterli təsirlər mühitində adekvat qərarların qəbul olunması mümkün fiziki imkanlar çərçivəsində kifayət qədər məhduddur.

Cədvəl 1. İqtisadi ukladın əsas formalarının klassifikasiyası

İqtisadiyyatın xarakterik tipləri	**İqtisadi ukladın parametrləri**				
	Subyektlər-arası iqtisadi münasibət-lərin xarakteri	**İsatifadə olunan iqtisadi resursların əsas formaları**	**İtehsalın dominant faktorları**	**Enerji istehlakı strukturunda daha çox istifadə oluanan növləri**	**Əmək resurslarının miqyas və səviyyəsi**
1.Primitiv iqtisadiyyat	Fərdi-qrup	İnsanların fiziki əməyi, bərpaolunan təbii resurslar	Əmək, torpaq	Təbii tağlar və heyvanların təbii yağı və əti	Praktiki olaraq lokal səviyədə
2. Aqro iqtisadiyyat	Индивидуальньо-артельный	Insan və heyvanların fiziki gücü, təbii resurslar, su və küləyin kinetik enerjisi	Əmək, torpaq, kapital	Hevanların tullantıları, günəş enerjisi, bərpaolunan enerji resursları	İlki, lokal və regional səviyyədə
3. Sənaye iqtisadiyyatı	Интернациональная отраслевая и межотраслевая специализация и кооперация	Təbii maddi və üzvi və qeyri-üzvi xarakterli süni resurslar	İntelektual əmək, torpaq, kapital(informasiya)	Hasil olunan yanacaq-enerji resurslarının istilik enerjisi Тепловая энергия ис-копаемых топлив-но-энергетических ресурсов	Orta, əsəsn milli və regional səviyyətəd Средняя, преимущественно j на национально мjили регионально м*уровнях*
4. İnformasiya iqtisadiyatı	Глобальная сетевая и виртуальная специализация и кооперация	Maddi və intellektual resurslar	İntelektual əmək, torpaq, kapital, informasiya (şüur)	Высокая энергия традиционных и нетрадиционных видов энерге-тических ресурсов	Yüksək, beynəlxalq səviyyədə
5. Universal iqtisadiyyat	Universal-laşma	İnformasiya, kosmik və mental resurslar	Intelektual capital, intelektual texnologiya, universal biliklər	Bərpaolunan enerji mənbələrinin yeni növləri, o cümlədən termonüvə və kosmik xarakterli	Ən yüksək səviyyədə, qlobal miqyasda, habelə kainatda

Qeyd olunan bu obyektiv uyğunsuzluğun nəticəsində enerji şirkətlərinin əməliyyat heyəti tərəfindən yol verilən nöqsanlar və digər texniki səbəblərdən, böyük həcmdə iqtisadi və sosial itkilərlə nəticələnən sistem (kaskadlı) qəzaları baş vermişdir [3].

Son illərdə bir sıra ölkələrdə, o cümlədən Azərbaycan Respublikasında baş vermiş bəzi sistem qəzalarının qısa xarakteristikası cədvəl 2-də verilmişdir [4,5].

Cədvəl 2. 2003-2015-ci illərdə baş vermiş sistem qəzalarının xarakteristikası

Sistem qəzasının ərazisi və tarixi	**Qəza zonası**	**Əsas səbəbləri**	**Açılmış güc həcmləri, GW**	**Davam etmə müd-dəti**	**Bərpa-etmə müd-dəti**
ABŞ və Kanada, 14 avqust 2003-cü il	8 ştat, Ontario, çox sayda sistem və sistemlərarası operator, 50 milyon insana təsir etdi.	Şəbəkə düyünlərinin maksimum yüklənməsi və yenidən işə düşməsi, Hava elektrik veriliş xətlərinin açılması statik və dinamik dayanıqlığın pozulması	61	saatlar	48 saat
Finlandiya, 23 avqust 2003-cü il	Район Хельсинки, 1 системный оператор	Personalın səhvi	0,5	0	15~71 мин
İsveç və Danimarka, 13 sentyabr 2003-cü il	Bu ölkələrin enerji sistemləri, 2 sistem operatoru, 4 milyon insana təsir etdi.	Fövqəladə vəziyyət yaradan daxili və xarici amillərin üst-üstə düşməsi	6,6	0	1,0-6,5 saat
İtaliya və İsveçrə, avqust,2003	Bu ölkələrin enerji sistemləri, 2 sistem operatoru, 56 milyon insana təsir etdi.	Böyül yük və şəbəkənin yenidən işə düşməsi, Hava EVX-nin açılması	28	25 dəq	3-18 saat
Россиu, 25 avqust 2005-ci il	Ölkənin 7 mərkəzi bölgəsinin enerji sistemləri 12 milyondan çox insana təsir göstərmişdir	Bir yarımstansiyada bir transformatorun partlaması, yenidən işə salma və EVX-nin açılması	3.5	10" 15 dəq	4-24 saat
İndoneziya, 1 8 avqust 2005-ci il	100 milyon, əhalinini 50%-i	Cileqon –Saguling açılamsı və Paiton stansiyasının dayanması	2.7		5 saat

Qərbi Sibir, 11 avqust 2009-cu il	Энергосистемы 6 областей, затронуто более 7 млн чел.	Взрыв гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС, отключение ВЛ	*6A*	Н/д	Н/д
ABŞ, Kanada və Mesika, 8 sentyabr 2011-ci il	Kaliforniya,San-Dieqo, İmperil vadisi, və s. 2.7 milyon insan	500 kV-luq hava xəttinin açılması və digər xətlərin ifrat yüklənməsi	*7,4*	11 dəq.	23 saat 22 dəq.
Hindistan, 30 -31 iyul 2012-ci il	22 ştat, 620 milyon	400 kV-luq Bina-Gvalior xəttin açılması	*32*		24 saatda çox
Banqladeş, 1 noyabr 2014-cü il	Banqladeşin bütün ərazisi,150 milyon əhali				12 saat
Pakistan, 26 noyabr 2015-ci il	Pakistanın 80 % (140 mln insane) hissəsi	Sindh yarımsatnsiyasında açılması –terror nəticəsində			20 saat
Türkiyə, 31 mart 2015-ci il	Türkiyənin 81 əyalətini, 70 milyon əhali	SES ifrat yüklənməsi və haxa xəttin təmirdə olamsı	*45*		4 saat
Ukrayna, Krım, 21 noyabr 2015-ci il	1.2 milyon əhali və digər istehlakçılar	Hava xəttində dayağın zədələnməsi	*0,8*		
Azerbaijan, 3 iyul 2018-ci il	9,8 milyon əhali	"Azərbaycan" elektrik stansiyasında CT-nın zədələnməsi və mühafizənin imtinası		2 saat	8 saat

Sistem qəzalarının baş verməsinin əsas səbəblərini aşağıdakı kimi qruplaşdırmaq olar:

- Informasiya təminatının kifayət qədər olmaması;
- Qəzanın ləğvi prosesində kommunikasiya və koordinasiya sistemlərinin qeyri-effektiv olması;
- Əməliyyat heyətləri arasında onların fəaliyyətini tənzimləyən prosedurların qeyri təkmil olması;
- Texniki vasitə və metodların köhnəlməsi;
- Əmiliyyat heyətini hazırlıq səviyyəsinin aşağı olması;
- Qəza senarilərinin modelləşdirilməsi səviyyəsinin aşağı olması;
- Real vaxt rejimində faz bucaqlarının dəyişməsinə və gərginlik səviyyələrinə nəzarət və qeydiyyatı üçün avtomatik vasitələrin olmaması və operativ hesbatların apılması üçün proqram təminatının zəif olması;

- Avtomatik nəzarət sisteminin qeyri təkmil olmasə;
- Terror hücumları.

Bir sıra ölkələrin, o cümlədən ABŞ-nın Milli Berkli laboratoriyasının apardığı tədqiqatların nəticələrinə görə, yalnız ABŞ-də baş verən sistem qəzaları nəticəsində illik itkilərin həcmi 80 milyard ABŞ dolları səviyyəsinə çatır. Bununla əlaqədar həyat tərzinin məcburi dəyişməsi ilə bağlı sosial itkilərin həcmi itkilərdə daha daha çox paya malikdir. Buna enerji istehsalının bütün mərhələlərində atmosferə atılan zərərli tullantıları da əlavə etmək lazımdır. Müasir sistemlərdə ayrılıqda energetik qurğuda qəzanın baş vermə ehtimalı az olsa da, onların sayının kifayət qədər artırılması qəzaların baş vermə ehtimalını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Sistem qəzaları nəticəsində iqtisadi - sosial sahələrə dəyən zərərlərin həcmi bir sıra hallarda təbii fəlakətlər nəticəsində dəyən ziyanlarla müqayisə olunan səviyyədə və bəzi hallarda isə onlardan daha çoxdur.

Yuxarıda qeyd olunan bu və digər faktorları nəzərə alaraq, yeni xassəli texniki, iqtisadi, ekoloji və sosial çağırışlar fonunda, artan və müxtəlif təyinatlı energetik və digər iqtisadi resurslar axının təhlükəsiz idarə olunması tələbi milli və qlobal miqyasda yanacaq-enerji kompleksinin (YEK) konseptual əsaslarının işlənilməsini/təkmillşdirilməsini şərtləndirir [6,7,8].

Məlumdur ki, dünya YEK-nin hazırkı və növbəti inkişaf mərhələsinin əsas məqsədi dünya iqtisadiyyatının davamlı inkişafına və regional enerji təhlükəsizliyinin təmin olunmasına nail olunmasıdır. Dünya iqtisadiyyatının davamlı inkişafı iqtisadiyyatın iqtisadi cəhətdən effektiv və ekoloji təmiz enerji resursları ilə tam əlçatanlığın təmin olunmasın ilə ifadə olunur. Eyni zamanda, artan iqtisadiyyatın effektiv enerji təminatı zaman keçdikcə pisləkməkdə davam edir. Bunun əsas səbəbi hazırda daha çox istifadə olunan (orta hesabla 73 % hissəsi) enerji resurslarının ənənəvi və bərpaolunmayan xarakterli olmasıdır [9,10].

Bu baxımdan, hazırda mövcud olan enerji, xüsusilə elektrik enerjisinin istehsalı, ötürülməsi və paylanması texnologiyalarına yenidən baxılması vacibdir.

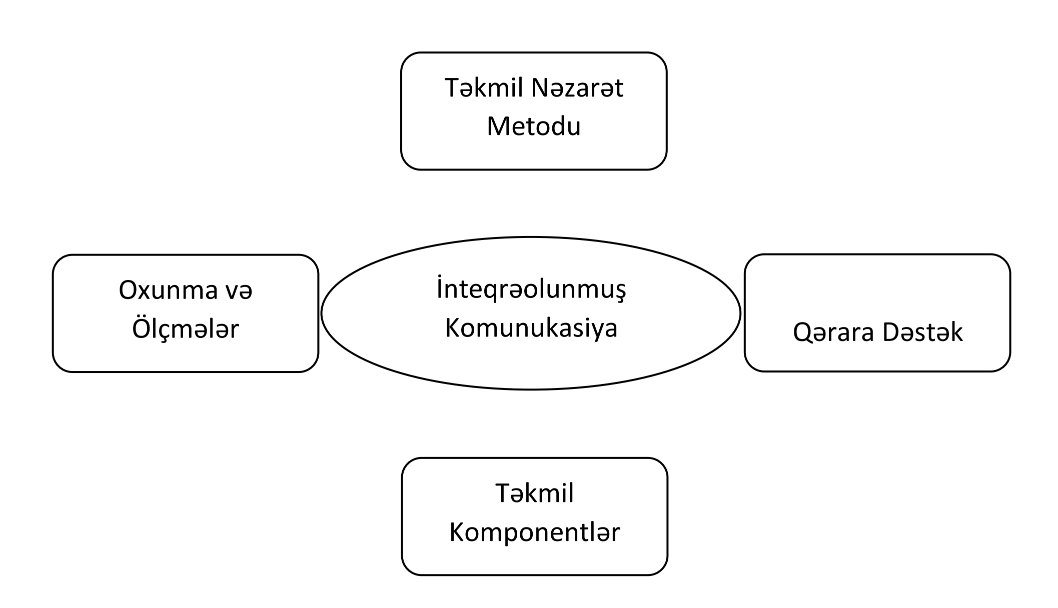
Elektrik enerjisinə olan böyük həcmdə tələbat və onun ani olaraq istehsalçıdan istehlakçıya verilməsi və mütləq paylanması kimi xassələri, elektrik enerjisinin bütün proses mərhələlərinin fasiləsiz idarə və tənzimlənməsini şərtləndirir. "BP Statistical Review of World Energy (2019)"-nin məlumatına görə 2018-cü ildə dünya üzrə elektrik enerjisinin hasilatı 2000-cü ilə nisbətən 57 % artaraq 22948 Teravat-saat təşkil etmiş və növbəti illərdə də bu artım tempinin orta hesabla davam etməsi proqnozlaşdırılır. Elektrik enerjisinin 2018-ci hesab ilində sərfinə görə dünya ölkələri arasında Çin Xalq Respublikası 6230 birinci, ABŞ isə 3953 ikinci, Hindistan 1227 milyarsd-saatla üçüncü, Azərbaycan isə 23,9 milyard-saatla 190 ölkə arasında 71-ci pillədə qərarlaşmışlar [11]. Azərbaycan Respublikasının elektrik enerjisi istehlakı son 18 ildə 47 % bəndi qeydə alınmışdır [12,13].

Elektrik enerjisinə artan tələbatın qarşılanması məqsədilə, coğrafi cəhətdən müxtəlif ölkələrdə, hətta kontinentlərdə yeni generasiya mənbələrinin (ənənəvi və ya qeyri ənənəvi) istifadəyə verilməsi, istehlakçıların sərtləşdirilən etibarlı, təhlükəsiz və səmərəlik meyyarları şəraitində, onların elektrik enerjisi ilə təminatını kifayət qədər mürəkkəb məsələyə çevirir. Mmürəkkəb infrastruktura malik olan müasir EES-də işıq surəti ilə dəyişən enerji axınlarının ənənəvi texnologiyalarla idarə olunması etibarlıq kriteriyalarına tam həcmdə cavab vermir. Bunu yuxarıda qeyd olunan, son illərdə Amerika, Avropa, Asiya, və s. kontinentlərində baş vermiş sistem qəzaları bir daha təsdiqləyir. Bu və digər faktorlar, 2005-cı ildə İEEE&Magazine [14] jurnalında "Ağıllı şəbəkə" (Smart Grid) anlayışının və növbəti ildə Avropa Şurasının "Avropa elektrik şəbəkəsinin gələcəyə baxış və inkişaf strategiyası" adlı sənədinin formalaşmasını zəruri etmişdir. Başqa sözlə, EES-nin intellekt səviyyəsinin yüksəldilməsi və ya intelektləşdirilməsi müasir və gələcək sistemlərin əsas inkişaf konsepsiyasını təşkil edir. Bu konsepsiyasıyanın əsasını vahid informasiya platformasında fəaliyyət göstərən, inteqrəolunmuş sistem olmaqla özünü, generasiya mənbələri, ötürmə və

paylanma sistemlərinı və bütün istehlakçıları və idarəetmə sistemlərini özündə birləşdirən EES-ni “on-line” rejimində idarə olunması təşkil edir.

2. Smart və mikro şəbəkələrin yaradılmasının iqtisadi-sosial əsasları

Smart texnologiyaların surətli inkişafı hazırda EES vacib transformasiya mərhələsinə qədəm qoymağa münbit şərait yaratmışdır. 2005-ci ildən başlayaraq dünyanın bir sıra aparıcı elm mərkəzləri tərəfindən rəqəmsal texnologya və yeni materiallara əsaslanan XXI əsrin EES-nin konsepsiyası işlənmişdir. Bu elmi mərkəzlərinin ilk sırlarında yer alanlardan Amerika Birləşmiş Ştatlarının (ABŞ) Enerji Departamenti (Department of Energy - DOE) və Milli Enerji Texnologiyaları Laboratoriyası (National Enegy Technolojy Laboratory - NETL) tərəfindən EES-nin effektiv idarə olunmasının çevikliyini təmin edilməsi üçün şəkil 1-də göstərilən beş *Mühüm Fundamental İstiqamət* (MFİ) müəyyən edilmişdir.



Şəkil 1. NETL-in beş MFİ sahəsi.

Qeyd edək ki, MFİ-in daxilində *İnteqrəolunmuş Komunukasiya* mərkəsi mövqeyə malikdir. Ötürmə sistemlərinin təhlükəsiz iş rejimlərinin təmin olunmsında Kommunikasiya sistemlərinə olan tələblər məlumdur. Geniş tezlikli, təhlükəsiz və kiçik yubanma qabiliyyətli (low-latency) kanallar vasitəsi ilə yarımstansiyaların öz aralarında və idarəetmə mərkəzləri ilə əlaqələndirilməsi digər MFİ-in effektiv fəaliyyətini şərtləndirir [15]:

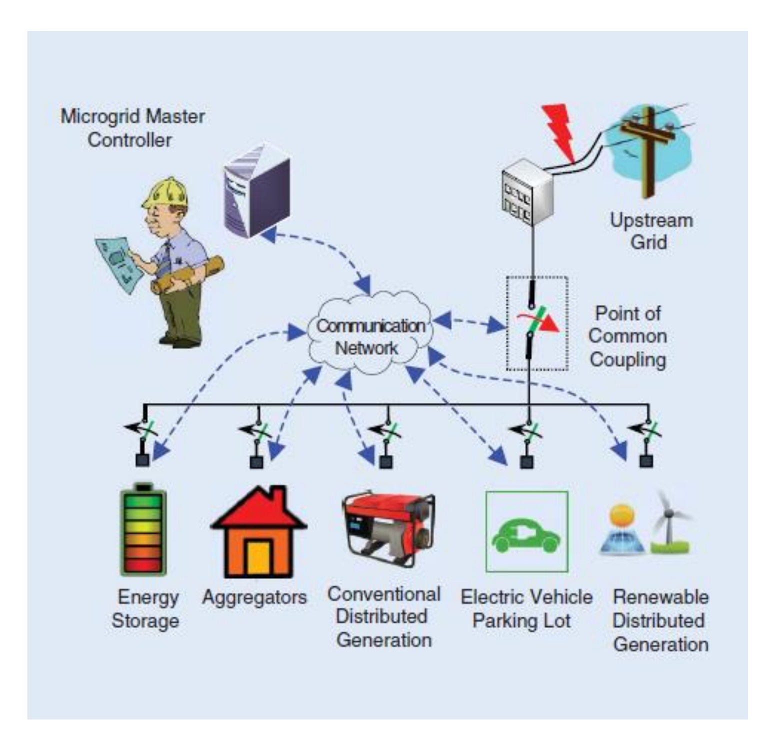
- *Oxuma və Ölçmə* göstəricilərinə yüksək surətli kanallarla ötürülən faz ölçüləri də daxildir;
- *Təkmil Komponentlər*, çevik dəyişən cərəyanlı ötürmə sistemi qurğuları (flexible ac transmision systems, FACTS), yüksək gərginlikli ötürmə sistemləri (High Voltage Direct Current, HVDC), cəryan məhdudlaşdırıcı qurğuları (current-limiting devices, CLD), yeni akumlyasiya sistemləri və s., millisekundlar ərzində meyletmələr baş verən ünvana idarəedici siqnalları göndərir;
- *Təkmil Nəzarət (mühafizə) metodu* kisik yubanma qabiliyyətli kommunikasiya vasitəsi ilə xətlərin diferensial releləri, qoyuluş qiymətlərinin adaptiv dəyişməsi və inteqrə olunmuş müxtəlif mühafizə sistemlərini özündə birləşdirir;

- *Qərarların Dəstəklənməsi* və təkmil interfeys sistemi faz ölçü qurğusu (phase measurement unit, PMU) və digər mənbələrdən daxil olan ani ölçülərin surətli emalı, eyni zamanda vizuallaşdırlması sistem operatorlarına sistemin dinamik dayanıqlığının pozulması çağrırışları ilə bağlı qabaqlayıcı addımların atılmasına imkan verir. Ənənəvi vizuallaşdırma texnikası enerji menecment sistemində (EMS) istifadə olunur. Bu instrument şəbəkənin düyün nöqtələrində gərginliyin, xətlər üzrə güc axınlarının dinamikada izlənməsinə imkan verir. Faz ölçü qurğuları sistemin qeyri-balans göstəricilərinin ölçülməsini və qeyri-balansın mənbəyinin müəyyən olunmasını və aradan qaldırılmasını mümkün edir. Məlumdur ki, birbaşa faz ölçmələrinin texniki imkanları və vizullaşmanın geniş əhatəli ölçü sistemi, WAMS (wide-area measurement systems) vasitəsi ilə həyata keçirilməsi, EES-nin sistem əhəmiyyətli elementləri üzrə gərginliyin faz-bucaq profillərini müşahidə etməyə və sistem monitorinqinə və bunlara əsaslanan qabaqlayıcı idarəedici və tənzimləyici təsirlərin köməyi ilə idarə olunmasına imkan verir. Sonda qeyd olunanlar PMU ilə əlaqələndirilmiş geniş əhatəli ölçü, mühafizə və nəzarət sistemi olan WAMPACS (wide-area measurement protection and control system) vasitəsi ilə həyata keçirilir.

3. **Mikroşəbəkənin (mikroqridin) tətbiqinin əsasları**.

Qeyd olunan MFİ-ə əlbəttə, EES-nin etibarlığını, çevikliyini, ekoloji tarazlığını və enerjiyə əlçatanlığı kimi idkatorları əlavə etmək olar.

Yuxarıda qeyd olunan elementlərin hər birı EES-nin, həm ötürmə, həm də xüsusi ilə, paylanma sistemlərinin modenizasiya mərhələsində tətbiqini zəruri edir. Belə ki, tarixi faktorlarla əlaqədar, bir qayda olaraq, paylanma sistemləri ənənəvi olaraq daha aşağı səviyyədə avtomatik idarə etmə sistemləri ilə təchiz olnmuşlar.



Şək. 3. Tipik mikroşəbəkəninin görüntüsü (mənbə: İEEE Electrification magazin /march 2016)

Başqa sözlə, ötürmə sistemlərinnin inkişafı təkamül yolu ilə baş verirsə, elektrik enerjisinin paylanmasında adekvat inkişaf səviyyəsinə nail olunması inqilabi yanaşma tələb edir. Paylanmış generasiya və akkumulyasiya, tələb-təklif, təkmil ölçmə infrastrukturu, paylanmanın avtomatika sistemləri, ikitərəfli güc axınları və bu səbəbdən paylanma sisteminin strukturunun və oan olan tələblərin əsaslı surətdə dəyişməsi böyük həcmdə maliyyə və intellektual kapital tələb edir. Qeyd olunmalıdır ki, paylanma sisteminin paradiqması ötürmə sistemlərinin əhəmiyyətini aşağı salmır. Aparıcı ekspertlərin fikri ilə razılaşmaq olar ki, yaxın on illikdə əsas generasiya mənbəyi kimi böyük güc mərkəzləri və bu səbəbdən ötürücü sistemlərin əhəmiyyəti yüksək olaraq qalacaqdır. Eyni zamanda, generasiya mənbələrinin paylanmış strukturu fəlsəfəsinə uyğun, orta hesabla 15 il əvvəl EES-də başlanılmış inkişaf tendensiyası artıq öz nəticələrini göstərməkdədir. Birləşmiş Millətlər Təşkilatının Baş katibinin 2011-ci ildə irəli sürdüyü Davamlı Enerji Hamı üçün (SE4ALL) təşəbbüsü çərçivəsində 2030-cü

ilədək bütün enerji xidmətlərinə əlçatanlığın nail olunması, enerji effektivliyini və qeyri ənənəvi enerji mənbələrinin payının iki dəfə artırılması məqsədləri davamlı enerji təminatının inkişafına yardım etmişdir.

Aydındır ki, bərpaolunan enerji mənbələri (BEM) enerji istehsalında ənənəvi mənbələrini əvəzləyə biləcəkdir, eyni zamanda, qeyd edək ki, ənənəvi enerji mənbələrinin malik olduqları idarəolunam və tənzimlənmə imkanları BEM-in mövcud imkanlarına nisbətən daha yüksəkdir.

Eyni zamanda yüksək gərginlikli ötürmə sistemləri, yarımstansiyalar və stansiyalar qəza hallarında yük axınlarını məhdudlaşdırır. Son illərdə kommunikasiya sistemlərinin EES-nə inteqrasiya olunması və onun ayrılmaz hissəsinə çevrilməsi və sistemin çevikliyinin yüksəldilməsində müstəsna rolu, komunukasiya sistemlərinin və idarəetmə mərkəzlərinin təhlükəsizliyinin artırılmasının arxivacibliyinə işarə edir. Sistemin çevikliyi, Birləşmiş Ştatların Milli Bərpaolunan labaoratoriyası tərəfindən müəyyən olunmuş tərifə görə, sisteminin tələb və təklif dəyişikliyinə cavab vermə qabiliyyətidir [16]. Böyük Britaniya Hökümət ofisi tərəfindən müəyyən olunmuş tərifə görə, sistemin çevikliyi, təsirlərə dözümlü, cəld reaksiyalı bərpaolunma və etibarlıq kimi komponentləri özündə birləşdirir [17].

Məlumdur ki, sistemin etibarlığını artırılmasına N-1 və N-2 etibalıq kriteriyalarının təmin olunması yolu ilə nail olunmalıdır. Etibarlıq yalnız həyacanlandırıcı təsirlərin sayının azaldılması yolu ilə deyil, həm də sistemin bu təsirlərə adekvat təsir etmə qabiliyyəti ilə xarakterizə olunur.

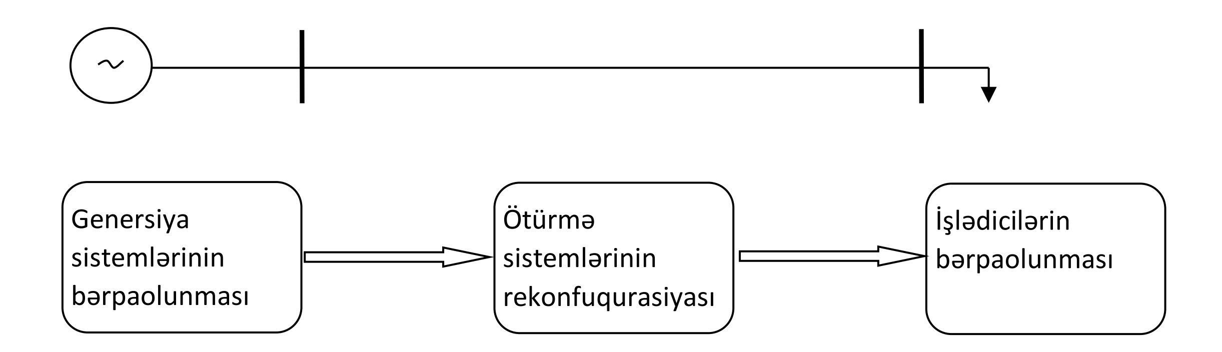
Çevik sistemin yaradılması yollarından biri də avtonom *mikroşəbəkəninin* rolunun genişləndirilməsi ola bilər. Mikroşəbəkə gələcək smart şəbəkənini baza elementi olmaqla, çevik sistemin yaradılmasında mühüm rol oynayacaqdır. Şəkil 3-də göstərildiyi kimi, mikroşəbəkə işlədicilər, paylanmış generasiya mənbəyi, sadə dəyişən cərəyan dövrəsi və şəbəkə ilə əlaqələnməsi çevikliyi artırılmasın şərait yaratmışdır [13].

Mikroşəbəkə həm şəbəkə ilə paralel, həm də ada rejimində fəaliyyət göstərə bilər. Normal rejimlərdə şəbəkə ilə sinxron zonada işlədiyi halda, qaçılmaz qəza rejimləri baş verdikdə, mikroşəbəkə istehlakçıları paylanmış generasiya mənbələri hesabına təmin edir. Qeyd edək ki, hazırda mikroşəbəkənin EES-nini operativ idarəetmə, planlaşdırılma, çeviklik, təhlükəsizlik, etibalığı və bərpaolunma məsələlərinə təsiri kifayət qədər tədqiq olunmamışdır.

Mikroşəbəkə, həmçinin sistemin çevikliyinin yuxarıda qeyd olunan kompnentlərinin inkişafına təsir edə bilər. Ənənəvi olaraq, qəzandan sonrakı rejimin bərpa olunması ardıcıl olaraq üç mərhələdə icra olunur (şəkil 5): generasita sistemlərinin bərpa olunması, ötürmə sistemin hazırlanması və yüklərin bərpaolunması. Yəni bərpa prosesi geberasiya sistemləri səviyyəsindən başlayır və istelakçılarda yekunlaşır. Bu proses bəzi hallarda bür neçə saat və daha çox zaman tələb. Bu addımların əsas məqsədi istehlakçmıları imkan daxilində etibarlı enerji təminatını bərpa etməkdir.

Birinci kateqoriyalı istehlakçılar fonunda ənənəvi-mərkəzləşdirilmiş bərpaolunma prosesinə çoxsaylı çatımazlıqlarlar xasdır. Bu baxımdan mikroşəbəkə növbəti üstünlüklərə malikdir:

- *əməliyyatın çevikliyi* – hadisə zamanı mikroqrid controllerlər vasitəsi ilə yüksək və zəif axınları təhlil edərək iş rejimini avtomatik rejimdə müəyyən edir və zəruri hallarda şəbəkə konfiqurasiyasını, mənbələrin strukturunu və müvafiq olaraq mühafizə sistemini dəyişir.
- *Özünü təminetmə* - xarici enerji təminatında fasilələrin yaranma halında mikroşəbəkə istehlakçıları paylanmış generasiya mənbələri (PGM) hesabına həytaa keçirilir və bərpaolunma prosesi kifayət qədər sadə yolla icra olunur.



Şək. 5. Ənənəvi qəzanını bərpaolunma prosesi

Qeyd oluna üstünlüklər təbii fəlakətlər zonasında daha aydın hiss olunur. Nümunə kimi, 2001-ci il 11 mart tarixində Yponiyada baş vermiş məlum təbii fəlakət zamanı, Tohoku Fukuşi unversitetinində fəaliyyət göstərən mikroşəbəkə iki gün müddətində xəstəxana da daxil olmaqla bir qrup istehakçılar fasiləsisz elektrik enerji ilə təmin olunmasını göstərmək olar.

Mikrogridin vacib üstünlüklərindən biri, yuxarıda qeyd olunduğu kimi, özünü bərpaetmə qabiliyyətidir. Əhər hər habsı səbədən mikroşəbəkədə zədələnmə baş verərsə, onda şəbəkə ötürücü və paylanma şəbəkəsi tərəfindən daxil olan informasiyalar əsasında yerli özünü bərpaetmə funksiyasını işə salır daha çox isyehlakçıların qısa müddət ərzində elektrik enerji təminatını bərpa edir.

Qeyd etmək lazımdır ki, mikroşəbəkənini tətbiqi müəyyən konseptual nəticələrin əldə olunmasına imkan verir:

- Mikrogridin vacib elementi çevik komunukasiya infrastrukturunun olmasıdır;
- Mikrogridin tətbiqi sistem elementlərində çoxsaylı rəqəmsal ötürücü, qəbuledici və idarəedici sistemlərin quraşdırlımasını zəruri edir;
- Mərkəzləşdirilmiş idarəetmədən qeyri-mərkəzləşmiş üsula keçid enerji təchizat sisteminin on-line rejimində idarəetmənin çevikliyini artırır;
- PPGM-nin (məsələn, gücü 30 kVt-dan çox olmayan cardaxda quraşdırılan günəş panelləri və dizel generatorları) tətbiqi mikroşəbəkəninin planlaşdırılmasını və idarə olunmasını stimilaşdırır;
- Sistem baxımından PGM tezlik nəzarəti və dispetçer idarəçiliyinə tabe olmur;
- Mikroşəbəkdə PGM-in inteqrasiyası, qaşılıqlı idarə olunması, mühafizəsi, nəzarət olunması və kommunikasiya sistemlərinin yeni standartı və siyasəti inkişaf inkişaf etdirilir.

Mikroşəbəkənin bu konsepsiyası müxtəlif ölkələrdə həyata keçirilən pilot layihələrdə sınaqdan keçirilmişdir [7].

Mikroşəbəkə adətən iki kateqoriyaya, avtonom rejimli (off-grid) və şəbəkə ilə sinxron zonada (grid-connected) işləyən sistemlər bölünür. İkinci öz növbəsində, *Campus mikroqrid* (univesitetlərdə, sənaye parklarında, böyük xəsətəxanalarda, fabirik və digər enerji istehlakçılara bilavasitə yaxın ərazilərdə enerji təminatının mevilkiliyini artırılması, qiymətinin aşağı salınması və korbon emissiyasının minimizasiyası məqsədi ilə yaradılır), *Hərbi* (hərbi qurğuların fiziki və kiber təhlükəsizliyini timin olunması üçün formalaşdırılır), *Komuna* (ənənəvi şəbəkənini büyük seqmetini əhatə etməklə, enerji təhcizatının etibarlığının və səmərəliliyinin təmin olunması məasədilə yaradılır) və *bort mikrogridə* (dəmir yolu qatarlarının, təyyarələrin, gəmilərin və elektrik avtomobillərin enerji təchizatı üçün nəzərdə tutulur) bölünr [IEEE].

Müasir cəmiyyət əsasən infrastukturlardan (məsələn, elektrikləşmə, kommunikasiya, nəqliyyat, su və qaz hasilatı və təminatı vəs.) asılı vəziyyətdə inkişaf edir. Bu səbədən istənilən fasilə kaskadvari inkişaf edərək bu infrastruktrlarda fəsilələrlərlə nəticələnir. Mikrogridin tətbiqi infrastruktur asıllığını aradan qaldırmağa imkan verir.

Həm paylayıcı, həm də elektrik enerjisinin ötürmə sisteminin real zaman kəsiyində informasiya mübadiləsi apara bilməsi, eləcə də generasiya mənbələrini əhatə edərək ümumi kommunikasiya şəbəkəsi ilə izlənə bilən bir sistemin yaradılması EES-nin effektivliyini kifayət qədər artırır. Xüsusilə, Azərbaycanda yaxın gələcəkdə əhəmiyyəti getdikcə artan bərpaolunan enerji mənbələrinin da istifadəsinin genişlənməsi cədvəl 3-də göstərilən üstünlükləri ilə şərtənən mikroşəbəkənin tətbiqini əsaslandırır.

Xüsusilə, mikroqridə müxtəlif enerji daşıyıcılarının mövcud olduğu mühitlərdə hab rolunu oynaya bilər. Mextəlif növ enenrji daşıyıcılarının dispetçerizasiyası əlçatanlıq, qiymət, enerji effektivlikyi, ekoloji təsirləri və təhlükəsizliyi kimi spesifik kriteriyaları nəzərə alınmalıdır. Belə şəraitdə enerji saxlancları (akumlyasiya sistemləri) və çeviricilər xüsusi rol oynayırlar. Bundan əlavə enerji saxlancları qeyri-ənənəvi enerji mənbələrinin əksər növlərinin klimatik parametrlərdən asılı olaraq dəyişən mənbələr olduğunu nəzərə alaraq, elektrik təchizatında fasilələri aradan qaldırmaq üçün mühüm potensila malikdir. Əlbətdə, bu texnologiyaların (elektrokimyəvi, istlik, mexaniki) inkişafı hələ ki, bütün tələblərə tam cavab verə biləcək qabiliyyətə mailk deyil.

Cədvəl 3. İntelektual şəbəkələrin funkisonallığı

Şəbəkə baxımından	İstehlakçı baxımından	ətraf mühit baxımından	Texnologiya baxımından
➢ Təhlükəsizlik ➢ Çoxfunksiyalılıq ➢ Şəbəkənin modernizasiya fürsətləri ➢ İstehsalın istehlak mərkəzlərinə yaxınlaşdırılması ➢ Ötürmə və paylama itkilərinin azaldılması ➢ Enerji keyfiyyətində dəyişiklik	➢ Mənfəət ➢ Məhsuldarlıq ➢ Elektrik enerjisinə olan tələbatın lokal və qənaətli şəkildə ödənilməsi ➢ Rəqabət gücü üstünlüyü ➢ Təminat davamlılığı	➢ Yaxşılaşdırılmış ətraf mühit ➢ Karbon emissiya-sının azaldılması	➢ Dizayn, quraşdırma və istifadəsi çox asandır ➢ Bu yerli istehsalın inkişafına imkan verə bilər.

Nəticə

Beləliklə, migroqrid dəb deyil, XXI əsrin enerji sistemlərinin istehsal və təsərrüfat fəaliyyətlərinin təşkili üçün davamlı iqtisadiyyatın tələblərinə cavab verən texnologiyaların inkişafı üçün yeni imkanların məntiqi istifadəsidir. Buna görə inkişaf etmiş ölkələr bu imkanlardan milli iqtisadiyyatlarının rəqabət qabiliyyətinin təmin olunması məqsədilə, səylər göstərir, EES-nin çevikliyini, təhlükəsizliyini və ən yüksək effektivliyini təmin etmək üçün sistemdə yeni texnoloji infrastrukturun yaradılması üçün böyük sərmayələr qoyur.

Yuxarıda qeyd olunaları və   mikroşəbəkənin tətbiqinin məlum üstünlüklərini (EES idarəetmə paradiqmasını dəyişir; “on-grid” və “off-grid” rejimdə işləmə qabiliyyəti həm şəbəkənini, həm də istifadəçilərin enerji təminatının çevikliyiyin artırılmasına şərait yaradır; enerji istifadəçilərin infrastruktur asıllığının azadılması mikroşəbəkələrin həyacanladırıcı təsirlə çevikliyinin artırılmasına və effektiv

idarəetməyə imkan verir, ekoloji tarzlığın təmin olunmasına şərait yaradır, istehsalat aktivlərinin istiafdəsinin effektivliyini artırır, və s.) nəzərə alaraq, Azərbaycan da milli iqtisadiyyatın rəqabət qabiliyyətini artırmaq üçün elektroenergetika sektorunda öz ağıllı infrastrukturuna sahib olmalıdır.

Ədəbiyyat siyahısı:

[1]. U.S. Energy Information Administration – eia.gov.

[2]. **https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019**

[3]. Okorokov V.R. Energy Consumption and Technological Development.RR— 90-1, NASA, Luxemburg, Austria, 1990. 25 p.p.

[4]. Окороков В. Р., Окороков Р. В. Роль энергии в экономическом развитии человеческой цивилизации // Академия Энергетики. 2008. № 4 (24). С. 14-19.

[5]. Юсифбейли Н.А. Анализ причин и характер развития аварии в Азербайджанской энергосистеме. .Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, «ЭНЕРГЕТИКА». Минск, Изд.БНТУ, 2003, №3. - с.42 - 48.

[6]. Building the Smart grid. /The Economist Technology Quarterly, June 6-th, 2009. P.p. 13-15.

[7]. Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050. OECD/ IEA, Paris, 2008.644 p.p.

[8]. Byroye, Casse.JR., Jamese.Bowen, Harrisont. Combs, Doneld g.Dunn, Martyna. Hilreth, Alan Plicher smart Indastrial Substations IEE Industry Applications. Magazine, 2005, volume 11, № 2б зю 12-20.

[9]. https://www.irena.org/Statistics

[10]. N.A. Yusifbəyli, A.Ə. Talıbov, E.R. Cuvarlinskaya. Elektrik energetika sistemlərinin qəza rejimlərinin idarə edilməsində ekspert sistemlərinin rolu, 99-105s. Mürəkkəb enerji sisteminin ənənəvi, alternativ enerji mənbələrinin və elektrik şəbəkələrinin inkişafı şəraitində effektivliyinin təmini məsələləri, Bakı-Elm-2010, 208s., Elmi əsərlər toplusunda.

[11]. www.TheGlobalEconomy.com

[12]. https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html

[13]. Azerbayjan Statistical yearbook 2019

[14]. Vision and strategy for Europe’s electricity networks of the future// www. smartgrids.eu/documents/ vision. Pdf.. 2006.

[15]. Amin Gholami, Farrokh Aminifar? And Mohammad Shahidehpour. Front Lines Againist the Darkness/ IEEE Electrifivation Magazine / march 2016.

[16]. https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61721.pdf

[17]. https://www.energy-uk.org.uk/publication.html/

SMARTGRİD AND MICRIOGRID - GLOBAL TRENDS AND FLEXIBILITY OF AZERBAIJANI POWER SYSTEM

Yusifbayli N.A. *, Nasibov V ** ., Balazadə İ.M ***

*** Azerbaijan State Oil and Industry University**

**** Azerbaijan Scientific Research, Project and Exploration Energy Institute**

***** Azerbaijan State Oil and Industry University**

Annotation. The article conceptually considers the issues of transformation of XXI century power systems and the socio-economic basis of micro networks, taking into account the impact of smart grids and micro-grid systems, which are an integral part of the system, against the background of modern development trends in power systems. Recommendations are also provided to meet the modern challenges of the Azerbaijani power system.

Key words. Smartgrid, microgrid, system failure, energy security, distributed generation sources, Important Fundamental Direction, Communication and coordination systems



Nurali Yusifbayli is Deputy Chairman of Azerbaijan State Agency on ARES, Head of the Department of ASOIU. He graduated from Kiev Polytechnic Institute in 1986. From 1986 till 2009 worked in Azerenerji OSC as a chief of Central Dispatcher Centre. N. Yusifbayli received his degree of Candidate of Technical Sciences in 1995, and Doctor of Technical sciences at the Azerbaijan Scientific Research and Design-Prospecting Power Engineering Institute in 2004. His research interests include: reliability and security of power systems, development of national and interstate electric power systems, SCADA, energy efficiency and safety.



Valeh Nasibov was born in Djebrail region of Azerbaijan Republic on April 18, 1964. He graduated from the Moscow Energy Institute in 1987. In 2005 he was awarded a PhD's degree, in 2016 he became an assistant professor. Since 1987 to the present he has been working in Azerbaijani Scientific – Research Designed–Prospecting Institute of Energetics. From 2009 to 2012 he worked as the head of “Energy security” laboratory. From 2012 to 2016 he worked as the head of “"Perspective development the electricity" Department. From 2016 to 2020 he was the Deputy Director of Azerbaijani Scientific–Research Designed–Prospecting Institute of Energetics and head of "Perspective development the electricity" Department. Currently. he is the head of "Perspective development the electricity"



Balazada Ilkin was born in Baku on July 14, 1994. In 2015 he graduated with honours from the Electrical Power Engineering Faculty of the engineering department of Azerbaijan State Oil Academy.Between 2015-2017, he received a master's degree from the Department of Electrical Engineering at ASOIU and graduated with honors. In 2018, he began to study for a Doctor of Philosophy on "Electrical engineering" at the Department of "Engineering" at the same university. Under the leadership of Honored Scientist of the Republic of Azerbaijan, Professor Yusifbayli Nurali, his chosen scientific research for the Doctor of Philosophy was dedicated to the topic of 'analyzing the complexity of the electrical power system with Smart Grid technology.

Since 2017, he has been working as an assistant at the Department of Electrical Engineering at ASOIU.

UOT 621.1

HİDROGENDƏN İSTİFADƏ OLUNMAQLA BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİ ƏSASINDA UCQAR KƏNDLƏRİN İSTİLİK VƏ ELEKTRİK ENERJİSİ TƏMİNATI

Bədəlov A.B.*, Kəlbiyev R.K.**

***Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi**
**** Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Unversiteti**

Anotasiya. Avtonom enerji kompleksi istehlakçıları etibarlı elektrik və istilik təchizatı ilə təmin etməlidir. Günəş elektrik stansiyası, istilik nasosu, dizel elektrik generatoru və hidrogen istehsalı, saxlanması və enerji istehsalı sistemindən ibarət enerji kompleksinin səmərəliliyini araşdırlır. Kompleksdə günəş enerjisindən, istilik nasoslarından, dizel generatorundan və hidrogen enerjisinə əsaslanan enerji saxlama sistemindən istifadə edərək ortaq istifadə nəzərdən keçirilir.

Açar sözlər. Günəş elektrik stansiyası, istilik nasosları, dizel generatoru, hidrogen enerjisi, enerji kompleksi

Giriş

Azərbaycan Respublikası coğrafi mövqeyinə və iqlim şəraitinə görə alternativ enerji mənbələrindən istifadə üçün əlverişli imkanlara malikdir. Ölkədə çayların, günəşin, istilik nasoslarının, küləyin, yeraltı isti (geotermal) suların və biokütlənin enerjisindən istifadənin geniş imkanları vardır.

Ənənəvi resursların təbii ehtiyatlarının azalması, ehtiyatların bərpa olunmaması, habelə yanacaq növlərinin qiymətlərinin qeyri-stabil və dəyişkən olması, neft və qaz kimi resursların ölkələrin siyasi və geoloji maraqlarına xidmət üçün təzyiq vasitəsi kimi istifadə edilməsi, bu yanacaq növlərinin istifadəsinin ekoloji tarazlığın pozulmasında mühüm rol oynaması günü-gündən bərpa olunan enerji mənbələrinə marağı artırmaqdadır.

Respublikamızda qazlaşdırılması səmərəli olmayan ucqar yaşayış məntəqələrinin bərpa olunan enerji mənbələri ilə təminatında günəş elektrik stansiyaları və günəş istilik sistemlərinin tətbiqi əlverişlidir. Ucqar ərazilərdə yaşayış məntəqələrinin elektrik enerjisi ilə təmin etmək üçün "off-grid" sistemlər təklif olunur və müvafiq hesabatlar aparılır. Baxılan məqalədə öz coğrafi mövqeyinə görə günəş enerjisi ehtiyatları ilə zəngin olan ölkəmizdə ucqar ərazilərdə yerləşən məntəqələrin enerji təminatına dair təkliflər verilmişdir.

1.Ucqar kəndlərin istilik və elektrik enerjisi təminatı

Avropa ölkələrində isitmə evin hər kvadrat metrinin qızdırılmasına sərf olunan enerji ildə 140 kVt*saat/m^2 təşkil edir. Rusiyada isə bu göstərici mərkəzləşdirilmiş qazanxana sistemləri üçün 198, digər isitmə sistemləri üçün 263 kVt*saat təşkil edir (Şəkil 1) Orta hesabla Rusiya üçün bu göstərici 232 təşkil edir ki, bu da maksimum göstəriçidir. Burada ən az enerji Maltada, Portuqaliyada, Kiprdə, İspaniyada sərf olunur (50kVt*saat/m^2-dək). Azərbaycan üçün hər isitmə dövründə hər kvadrat metrə sərf edilən enerjinin qiyməti "Azəristiliktəchizat"dan alınan qaimələrlə hesabladıqda Bakıda mərkəzləşdirilmiş qazanxana sistemi olan evlərdə 48kVt*saat/m^2, kombi sitemi ilə qızdırılan evlər üçün 250 kVt*saat/m^2 təşkil edir. Müstəqil ekspertlər də Bakıda bu rəqəmin Bakıda 250 kVt*saat/m^2 olduğunu vurğulayırlar ki, bu da Rusiyada şəxsi kənd evlərində sərf olunan enerjiyə uyğundur.

Azərbaycan Respublikasında ucqar kəndlərdə elektrik məişət cihazları və mənzillərin qızdırılması üçün orta hesabla elektrik enerjisi istehlakı aşağıdakı cədvəllərdə verilmişdir.

Cədvəl 1. Ucqar kəndlər üçün enerji istehlakı və lazım olan günəş panellərinin gücü

1 abonentin elektrik məişət cihazlarına aylıq elektrik enerji sərfiyyatı, kVt/saat	1 abonentin elektrik məişət cihazlarına illik elektrik enerji sərfiyyatı, kVt/saat	Günəş panellərinin il ərzində maksimum gücə gətirilmiş işləmə saatları, saat	Məişət cihazları üçün 20% artıq qəbul etməklə panellərin gücü, kVt	Bir abonent üçün isitmə mövsümündə mənzilin qızdırılmasında orta hesabla 1 m^2 sahə üçün, enerji sərfiyyatı kVt·saat	Bir abonent üçün isitmə mövsümündə mənzilin qızdırılmasında orta hesabla 35 m^2 sahə üçün, enerji sərfiyyatı kVt·saat	Mənzilin qızdırılması üçün 20% artıq qəbul etməklə panellərin gücü, kVt
161	1932	1314	1,8	225	7875	7,2

Günəş panellərinin gücünə görə hər kənddə uyğun stansiya qurula bilər. Enerjiyə qənaət məqsədilə istilik nasoslarından istifadə oluna bilrər.

Cədvəl 2. 100 evə malik kənddə istehlak göstəriciləri və GES-in parametrləri

Kəndin tipi	Əhalisi	Abonent sayı (əhali üzrə)	1 abonentə ümumilikdə orta hesabla illik enerji sərfi, kVt/saat	1 abonent üçün ümumilikdə panellərin gücü, kVt	Kənd üçün günəş panellərinin gücü, kVt
100 ev olan kənd	470	100	9807	9	900 (≈1 MVt)

Deməli 100 evə malik kəndi elektrik enerjisi ilə təmin etmək üçün gücü 900 kVt (≈1 MVt) olan GES-in quraşdırılması kifayətdir.

Göstərilən enerji təmin olunduqdan sonra, kənddə evləriin enerji təminatı istənilən şəkildə təmin olunacaqdır.

Abonentlərin sayı müxtəlif olan digər kəndlərdə də günəş panellərinin gücünə görə uyğun stansiya qurula bilər. Enerjiyə qənaət məqsədilə bu kəndlərdə istilik nasoslarının tipi seçilərək istifadə oluna bilrər.

Kənddə əlavə olaraq ehtiyat üçün qısa müddətli enerji təminatı üçün dizel generatorundan istifadə olunacaqdır.

2.Ehtiyat generatorun seçilməsi

Yuxarıda hesabladığımız kimi, bir evin isitmə dövründə orta enerji istehlakı, 51 kVt-saat-dır. Göstərilən parametrə uyğun olaraq seçilmiş dizel generatorunun 100 ev üçün parametrləri aşağıdakı cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3. 100 evə malik kənd üçün seçilmiş dizel generatorunun parametrləri

Bir abonentin isitmə dövründə orta enerji istehlakı, kVt-saat	100 abonentin isitmə dövründə orta enerji istehlakı, kVt-saat	Bir abonent üçün maksimum yüklənmə, kVt	100 abonent üçün maksimum yüklənmə, kVt	311 kVt-lıq Generatorun gücü, [15] kVt	Generatorun sutka ərzində işləyəcəyi saatların miqdarı,	1 sutkada generatorun dizel yanacağı sərfi (76,5l/saat), Litr
51	5100	3	300	311	16,4	1255

Hesablamalara uyğun 2 gün üçün 2510 litr dizel yanacağı ehtiyatda saxlamaq lazımdır. Günəşsiz günlərin miqdarı daha uzun olarsa, ehtiyat yanacaq gətirmək olar.

3.Bərpa olunan enerjinin akkumlyasiya olunması

Bərpa olunan enerjinin akkumlyasiya olunması, sistemin normal işləməsi üçün hidrogen yanacağından da istifadə olunur. Bərpa olunan enerjinin istehsalı istehlakın miqdarını aşdıqda hidrogen istehsal olunur. Adətən bu halda hidrogen elektroliz üsulu ilə alınır. Hidrogendən elektrik enerjisinin alınması müxtəlif yollarla aparılır, əsasən aşağıdakı üsullar tətbiq olunur:

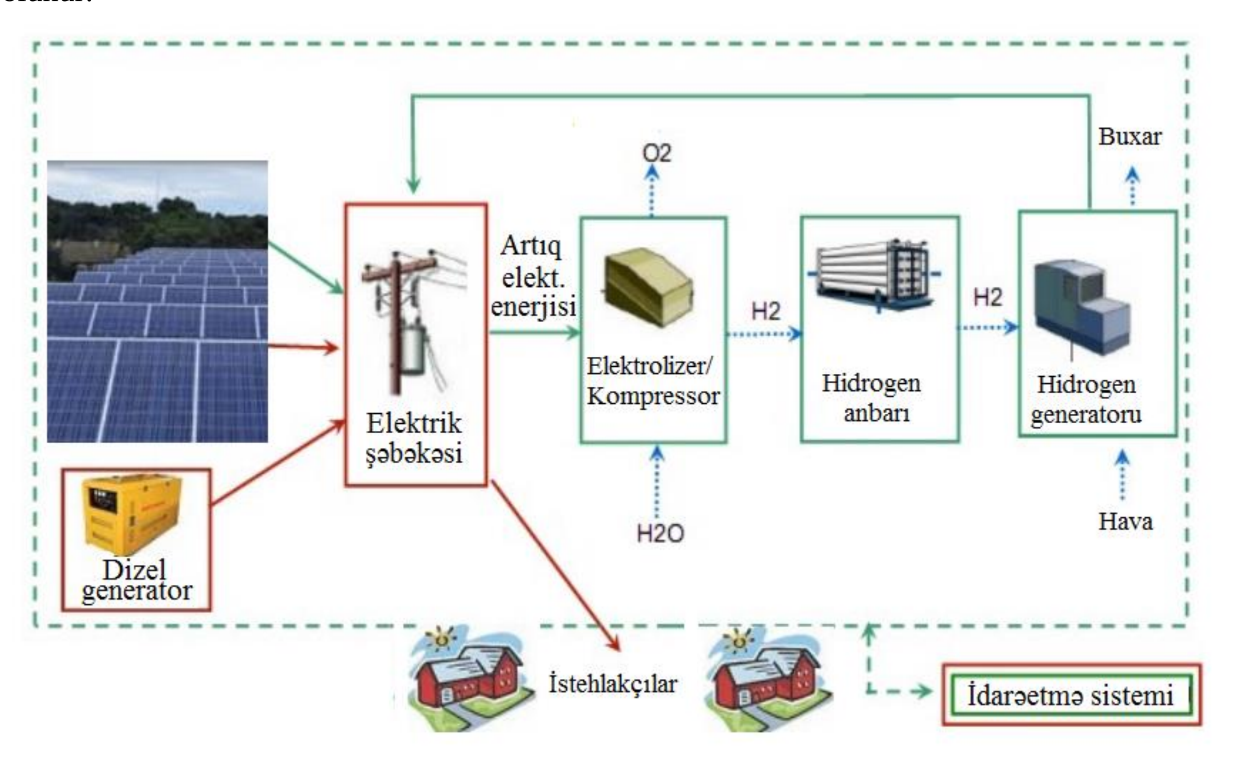
-Yanacaq elementləri vasitəsilə elektrik enerjisinin alınması;

-Xüsusi ayarlanmış dizel və ya buxar generatorlarında hidrogenin yandırılması.

Yanacaq elementlərinin istifadəsi hazırda daha əlverişli hesab olunur. Elektrik enerjisi daha yüksək effektivliklə əldə edilir (birinci üsulu istifadə edərkən 50-80% ikinci üsulda 20-35%). Bununla birlikdə, yanacaq elementlərinin qiyməti olduqca yüksək olaraq qalır.

Bu cür enerji kompleksləri istifadə olunarkən hidrogenin kifayət qədər böyük həcmdə saxlanması zərurəti yaranır. Bu məqsədlə bir sıra üsullar təklif edilmişdir, bəziləri istifadə zamanı etibarlı olmuş, bəziləri üçün isə hazırda laboratoriya və istehsal sınaqlarını keçirilir.

Oxşar enerji kompleksləri artıq yaradılıb ABŞ, Kanada, Avstraliya və Danimarkada uğurla istifadə olunur.



Şəkil 1. Romeada (Kanada) enerji kompleksinin sxemi.

Təqdim olunan enerji kompleksi enerji istehlakçıları fasiləsiz olaraq təmin etməlidir. Bunun üçün istehlakçıların tip və kateqoriyasından asılı olaraq enerji təchizatı sistemində aşağıdakı enerji mənbələrindən istifadə etmək lazımdır ki, günəş enerjisinin fasiləsizliyini təmin etsin.

Məsələnin qoyuluşunda əsas məqsəd respublikamızda ucqar bir kənddin istilik və elektrik enerjisi təminatının həyata keçirilməsi tələb olunur. Kənddə abonentlərin sayı şərti olaraq 100 qəbul olunur. Kənd üçün saatlıq istilik və elektrik enerjisinin təchizatının miqdarı, yəni $\overline{Q_\iota}$ və $\overline{P_\iota}$ $i = 1,2 \dots n$

$$T = t_k - t_0 = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i \qquad (1)$$

Haradakı, Δt_i=1saat

İstehlakçıların yük qrafikləri GES istifadəsi ilə tamamlanmalı, elektrik enerjisi istehsal etmək üçün yanacaq elementləri, toplanan və sonra istifadə olunan H2 və O2 sistemləri; lazımi texniki və iqtisadi parametrlərə və xüsusiyyətlərə malik istilik nasosları, dizel və ya benzin generatorları, xüsusi informasiya ilə təmin olunmalıdır.

O cümlədən GES üzrə informasiyalara aiddir: GES-in növü, gücü $N_{\mathrm{GES}}^{\mathrm{Qur}}$, f.i.ə., quraşdırılması və müəyyən dövr üçün istismarı nəzərə alınmaqla dəyəri, quraşdırılma bucağı (φ^0).

Yanacaq elementi (YE), H2 və O2 toplanması sistemləri üzrə elektrolizatorun məhsuldarlığını (nm3 / saat), quraşdırılma gücünü (kVt), kompressor təzyiqini (atm.), hidrogenin lazımi saxlanma həcmini V_{H2} (lazım olduqda oksigenin, nm3), yanacaq elementinin quraşdırılma gücü N_{YE}^{Qur}, avadanlıqların quraşdırılma dəyəri, təhvil verilmə, istismar şəraiti nəzərə alınmalıdır.

İstilik nasosları üçün aşağıdakıları bilmək lazımdır: İN növü; qruntun tipi; İN quraşdırılma gücü $N_{İN}^{\mathrm{Qur}}$ (kVt); elektrik enerjisinin istilik enerjisinə çevrilmə əmsalı; İN-nun dəyəri, gətirilmə, quraşdırma, qazma və s. xərclər; hesabat nöqtəsində qruntun və havanın orta temperaturu.

Dizel generatoru (DG) üzrə: xüsusi yanacaq sərfi b_∂ (l/kVt), yanacağın qiyməti, DG-nın xidmət müddəti və dəyəri.

Həmçinin, köməkçi avadanlıqların - invertorların, transformatorların, ölçü və idarəetmə avadanlıqlarının və s. istismar və enerji xarakteristikalarını nəzərə almaq lazımdır.

Baxılan hesabat müddəti $T = t_k - t_0$ üçün gətirilmiş minimum xərcləri təmin etmək üçün Enerji Kompleksinin optimal tipini və əsas elementlərinin sayını tapmaq tələb olunur, yəni

X_{Σ}^{g} (T)= $X_{\mathrm{GES}}^{g} + X_{\mathrm{YE}}^{g} + X_{\mathrm{AKK}}^{g} + X_{\mathrm{İN}}^{g} + X_{DG}^{g} \rightarrow min$ (2)

Aşağıdakı şərt və məhdudiyyətlər gözlənilməlidir:

$P^{max} \leq N_{\mathrm{GES}}^{\mathrm{Qur}} + N_{YE}^{\mathrm{Qur}} + N_{DG}^{\mathrm{Qur}}$ (3)

$\overline{P_\iota} = \overline{N}_{GESi}(\overline{v_\iota}) + \overline{N}_{YEi} + \overline{N}_{DGi}$ (4)

$\overline{N}_{GESi} = \overline{N}_{GESi}(\overline{T_\iota})$ (5)

$0 \leq \overline{v_\iota} \leq \overline{v}_{max}$ (6)

$0 \leq \overline{N}_{GESi} \leq N_{\mathrm{GES}}^{\mathrm{Qur}}$ (7)

$0 \leq \overline{N}_{YEi} \leq N_{\mathrm{YE}}^{\mathrm{Qur}}$ (8)

$N_{\mathrm{DG}}^{\mathrm{min}} \leq \overline{N}_{DG} \leq N_{\mathrm{DG}}^{\mathrm{Qur}}$ (9)

$\overline{N}_{YEi} = \overline{N}_i(\overline{T}_2)$ (10)

$0 \leq V_{H2}(N_{YE}(\mathrm{t}) \leq V_{\mathrm{H2}}^{\mathrm{max}}$ (11)

$V_{H2}(T) = \int V_{H2}\big(N_{GES}(t)\big)dt$ (12)

Burada, $V_{H2(nm3)}$ – ehtiyat üçün toplanmış hidrogen həcmidir.

Burada (3)-də enerji kompleksinin əsas hesabat elementlərinin sayını və həmçinin əsaslı vəsait qoyuluşunu, təmirlərin dövriliyini və onların istismar müddətini nəzərə almaq lazımdır.

Baxılan məsələnin analizi imkan verir ki, o çox funksiyalı (3) tipli məqsədyönlü əlaqə tənliklər, (6, 7, 8, 11) tipli məhdudlaşdırıcı bərabərsizliklər, (12) tipli məhdudlaşdırıcı inteqrallar və (5) tipli qeyri-xətti

əlaqələr kimi sinifləşdirilsin. Bir və ya çox ekstremallı oxşar məsələlər kimi onların həlli qlobal riyazi proqramlaşdırma və axtarış üsulunun istifadəsini tələb edir.

İlkin verilənlər:

T– günəşli günlərin saatlarla miqdarı (saat);

P (t) – İstehlakçıların elektrik yükü (saatlar üzrə verilənlər);

$P_e(t)$ – İstehlakçıların istilik yükü (saatlar və ya orta sutka üzrə verilənlər).

Hesabat üsuluna uyğun olaraq günəş enerjisinin hesablanması yuxarıda verilmişdir.
GES-in gücü aşağıdakı kimi götürülməlidir:

$$N_{GES}(t) = N_{GES}(T_s) \qquad (14)$$

İN və ya elektrik qızdırıcısı istifadə olunduqda əlavə elektrik enerjisi sərf olunur, hansı ki, istehlakçıların yük qrafikində nəzərdə tutulmamışdır. İN və ya elektrik qızdırıcısı istifadə olunduqda istənilən vaxt elektrik yükü aşağıdakı kimi (15) hesablanır:

$$P'_{el}(t) = \begin{cases} P_{el}(t) + \frac{P_{ist}(t)}{k_{İN}}, & əgər\ P_{ist}(t) - N_{İN} \le 0 \\ P_{el}(t) + \frac{P_{ist}(t)}{k_{İN}} + (P_{ist}(t) - N_{İN}) \cdot \eta_{üm}, & əgər\ P_{ist}(t) - N_{İN} > 0 \end{cases} \qquad (15)$$

Burada, $P_{el}(t)$ – istehlakçıların elektrik yükü, $P_{ist}(t)$ – istehlakçıların istilik yükü, k – elektrik enerjisinin istilik enerjisinə çevrilmə əmsalıdır.

Müəyyən vaxtda GES tərəfindən istehsal olunan enerji $N_{GES}(t)$ İN-ın istehlakı və ya elektrik qızdırıcısı istehlakı $P'_{el}(t)$ daxil olmaqla ümumi istehlakdan çox olur, bu zaman artıq yükü akkumlyasiya məqsədəuyğundur. Hidrogen alınması üçün elektrolizerə verilən yükü aşağıdakı kimi hesablayırıq:

$$P'_{el}(t) = \begin{cases} N_{GES}(t) - P'_{el}(t), & əgər\ N_{GES}(t) - P'_{el}(t) > 0 \\ 0, əgər & N_{GES}(t) - P'_{el}(t) \le 0 \end{cases} \qquad (16)$$

İstehsal olunan hidrogenin həcmini belə hesablayırıq

$$V'_{H2}(t) = \begin{cases} P'_{el-z}(t) \cdot M_{el-z}, & əgər\ P'_{el-z}(t) < P^{\text{qur}}_{\text{el-z}} \\ P^{\text{qur}}_{\text{el-z}} \cdot M_{el-z}, & əgər\ P'_{el-z}(t) > P^{\text{qur}}_{\text{el-z}} \end{cases} \qquad (17)$$

Burada, M_{el-z} – – elektrolizerin məhsuldarlığı, (nm^3/kVt·saat); $P^{\text{qur}}_{\text{el-z}}$ – elektrolizerin quraşdırılma gücü, (kVt).

Yanacaq elementinin yaratdığı gücü belə təyin edirik:

$$N'_{YE}(t) = \begin{cases} 0, əgər\ P'_{el}(t) - N_{GES}(t) < 0\ və\ ya\ V_{H2}(t) \to 0 \\ N_{YE}, əgər\ P'_{el}(t) - N_{GES}(t) > N_{YE}, V_{H2} \gg 0 \\ P'_{el}(t) - N_{GES}(t), əgər\ N_{YE} > P'_{el}(t) - N_{GES}(t) > 0, V_{H2} \gg 0 \end{cases} \qquad (18)$$

İstifadə olunan hidrogenin həcmi $N_{GES}(t) - P'_{el}(t) < 0$ olduqda,

$$V''_{H2}(t) = \frac{36000000\, N'_{YE}(t)}{q_{H2} \cdot \rho_{H2} \cdot \eta_{H2}} \qquad (19)$$

Burada $q_{H2} = 120 \cdot 10^6$ C/kq – hidrogenin xüsusi yanma istiliyi;

$\rho_{H2} = 0{,}09$ kq/m^3 – hidrogenin sıxlığı;

3600000 – Coul-dan kVt-a keçmə əmsalı.

Müəyyən vaxt T üçün hidrogenin miqdarı belə hesablanır:

$$V_{H2} = V_{H2b} + \int_{i=0}^{T}\left(V'_{H2}(t) - V''_{H2}(t)\right)dt \tag{20}$$

Bu zaman ehtiyat hidrogenin məhdud olduğunu nəzərə almaq lazımdır $V_{H2max} = V_b$;

DG vasitəsilə istehsal olunan güc belə hesablanır:

$$N'_{DG}(t) = \begin{cases} P'_{el}(t) - N_{GES}(t) - N'_{YE}(t), \text{əgər } N_{DG} > P'_{el}(t) - N_{GES}(t) - N'_{YE}(t) > 0 \\ N_{DG}, \text{əgər } N_{GES} < P'_{el}(t) - N'_{GES}(t) - N'_{YE}(t) \\ 0, \text{əgər } P'_{el}(t) \le N'_{GES}(t) - N'_{YE}(t) \end{cases} \tag{21}$$

Yanacaq sərfi belə hesablanır:

$$Q_Y = \sum_{i=1}^{8760T} b_Y\, N'_{DG}(t)\Delta t \tag{22}$$

Yağ sərfi belə hesablanır:

$$Q_Y = \sum_{i=1}^{8760T} b_{yağ}\, N'_{DG}(t)\Delta t \tag{23}$$

Məlumdur ki, ən çox xərclər birinci il olacaqdır. Energetika kompleksində əsaslı vəsait qoyuluşunu belə hesablayırıq;

$$Ə_{EK}=Q_{GES}+ Q_{İN.tam}+ Q_{Ak.H2}+ Q_{DG}+ Q_{Köm.} \tag{24}$$

Burada, Q_{GES} –GES-in gətirilməsi və quraşdırılmasıda daxil tam qiymətidir; $Q_{İN.tam}$ -İN-ın gətirilməsi və quraşdırılmasıda daxil tam qiymətidir; $Q_{Ak.H2}$-Elektrolizerin gətirilməsi və quraşdırılmasıda daxil olmaqla hidrogenin akkumlyasiya sisteminin qiymətidir, buraya həmçinin yanacaq elementinin, kompressorun, hidrogeni saxlamaq üçün balonlarında qiyməti daxildir; Q_{DG}-dizel generatorun gətirilməsi və quraşdırılmasıda daxil tam qiymətidir; $Q_{Köm}$- köməkçi avadanlıqların (transformator, invertor, kabellər və s.) gətirilməsi və quraşdırılmasıda daxil tam qiymətidir.

Göstərilən parametrlərə istismar müddətində avadanlıqların təmir və istismar xərcləridə əlavə olunur.

Enerji kompleksi bir neçə enerji istehsal edən qurğulardan, istehlakçılardan təşkil olunduğuna görə istehsal və istehlak balansı vacibdir. Ona görə elektrik, istilik enerjisi yükü və günəş enerjisinin radiasiyası haqqında məlumatlar olmalıdır. Bu məlumatların saatlar üzrə olması daha məqsədəuyğundur.

Qoyulan məsələnin həlli zamanı enerji kompleksinin optimal parametrləri müəyyən T müddətində enerji xərcləri minimum olmalıdır. Məsələnin həllində riyazi proqramlaşdırmadan istifadə oluna bilər.

Araşdırmalar zamanı əldə olunan nəticələr

Tədqiqatlar nəticəsində hidrogen akkumlyasiyasından istifadə olunduqda GES-lə eyni zamanda işləyən elementlərin sayı dahada artır, uyğun olaraq sistemində qiyməti orta hesabla 20%-ə qədər artır.

Təqdim olunan energetik sistemin analizi göstərir ki, elektrolizerin gücü artdıqca hidrogen saxlanmasına lazım həcmin miqdarı azalır.

Sistemin quraşdırma gücü əsasən istehlakçılara lazım olan yükdən asılıdır.

Energetik sistem komplektləşdirilərkən elə avadanlıq seçmək lazımdır ki, minimal həcmli balonların istifadəsinə imkan yaratsın və balonlar dolduqda hidrogen artığı alınmasın. Bu zaman ilin əvvəlində və axırında ehtiyat üçün saxlanan hidrogenin miqdarı eyni olmalıdır.

Göstərilən GES, İN, H2 və DG-dan ibarət sistemin hesablamalarının yüksək səmərəli olmasına baxmayaraq son qərarın qəbul olunması üçün istismar təcrübəsinində olması vacibdir.

İlkin hesablamalar zamanı istilik nasoslarının tətbiqində istilik məqsədilə istehlak olunan enerjinin 66%-nə qənaət olunacaqdır.

Günəş panellərindən alınan elektrik enerjisi istehlakdan artıq olduqda hidrogen qazı istehsal olunur və ondan lazım olduğu zaman elektrik və istilik məqsədilə istifadə olunur. Qeyd olunan sudan elektroliz yolu

ilə hidrogen istehsal edən qurğuların tətbiqindən 1 m3 hidrogen almaq üçün 5,5kVt-saat elektrik enerjisi sərf etməklə 33,2 kVt-saat istilik enerjisi almaq mümkündür. Göründüyü kimi bu üsul istilik nasoslarının tətbiqindən belə səmərəlidir. Sadə hesablamalar göstərir ki, elektrik enerjisindən istilik enerjisinə keçdikdə 5-dəfədən çox enerjiyə qənaət olunacaqdır. Orta hesabla hər evin enerji təlabatın ödəmək üçün 1,5m3 hidrogen qazı lazımdır (hidrogen qazının istiliktörətmə qabiliyyəti 1 m3 üçün 33,2kVt-saat olduğu halda təbii qaz üçün bu ancaq 9,3 kVt-saat-dır).

Ədəbiyyat

1.Bədəlov A.B., Kəlbiyev R.K. Azərbaycan Respublikasının günəş enerji mənbələrinin istifadəsi və kadastrı. Bakı-2014.

2.N.A.Yusifbəyli, V.X.Nəsibov, R.R.Əlizadə. Elektroenergetikanın inkişafının bəzi məsələləri. Mürəkkəb enerji sisteminin ənənəvi, alternativ enerji mənbələrinin və elektrik şəbəkələrinin inkişafı şəraitində effektivliyinin təmini məsələləri. "Az. ET və LİEİ" Elmi Əsərlər Toplusu. Bakı-Elm-2010, İSBN 5-8066-1696-2, M 2201000000/655(07)-10, s-17-31.

3. Cəlilov M.F. Alternativ regenerativ enerji sistemləri. Bakı-2009.

4. Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyinin rəsmi internet səhifəsi: http://www.area.gov.az

5.А.Б. Бадалов, Р.К. Калбиев, Р.Р. Бархалов, Н.Р. Калбили. Перспективы развития возобновляемой энергии в Азербайджане. М.: «Энергетик», 2015.

6.Юсифбейли Н.А. Алгоритмизация задачи оперативно-диспетчерского контроля и управления состояниям режима энергосистемы. Современные проблемы алгоритмизации и программирования. Доклады и тезисы научной конференции. Ташкент-2001 г.

7.Юсифбейли Н.А. Экономические принципы управления межсистемными перетоками. Национальная Академия Украины. Сборник научных трудов Института Проблем Моделирования в Энергетике им. Г.Е. Пухова. Киев-2004, с.95 – 101.

8. Э.С. Бабаев, А.М. Гашимов, Н.А Юсифбейли, А.Б. Аскеров. Солнечные экстремальные события октября-ноября 2003 года и их возможные влияние на системы передачи электроэнергии Азербайджана. Труды международной научной конференции «Исследование солнечной системы: перспективы сотрудничества с ШАО», 14-17 июня 2004г, ШАО, Пиргулу, Шамахы, Азербайджан. С.37-43.

9. Гусейнов А.М., Юсифбейли Н.А. Эффективность распределенного размещения генерирующих мощностей электростанциями малой мощности. Энергетика России в XXI веке: Развитие, функционирование, управление //Сборник докладов Всероссийской конференции. The 5th International Conference AEC-2005/ Asian Energy Cooperation: Interstate and Energy Markets. Irkutsk. Russia, September 12-15, 2005 P.733-736.

10.Юсифбейли Н.А, Насибов В.Х. Модели исследования электроэнергетической безопасности Азербайджана, Энергетическая политика, №3, 2013, Москва, с. 50-60.

11.Виссарионов В. И., Шестопалова Т. А., Якушов А. Н. Энергообеспечение ноосферного поселка от возобновляемых источников энергии. –М.: «Энергосбережение. Теория и практика» 2008г. Октябрь.

12.Дорошин А.Н., Виссарионов В.И., Малинин Н.К. Многофакторный анализ эффективности энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии для энергообеспечения автономного потребителя./ Вестник МЭИ. 2011, №2.

13.Дорошин А.Н., Виссарионов В.И., Кузнецова В.А. «Ветроводородный энергетический комплекс для энергоснабжения потребителя». Энергосбережение – теория и практика. Труды четвертой

международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. Москва. Издательский дом МЭИ, 2008 г. (стр. с 247 по 251).
14.Шпильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г.; под ред. Легасова В.А. Введение в водородную энергетику. М.: Энергоатомиздат, 1984 – 264с.
15.http://www.profpower.ru/product/dizelnyj-generator-mvae-ad-280-400-s/
16. https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/127

THE ENERGY SUPPLY İN İSOLATED APEA WİTH RENEWABLE ENERGY SOURCES BASED ON HYDROGEN

Badalov A.B. *, Kalbiyev R.K. **

*** State Agency for Alternative and Renewable Energy Sources**
**** Azerbaijan State University of Oil and Industry**
Annotation. Annotation. The autonomous energy complex must provide consumers with a reliable supply of electricity and heat. The efficiency of the energy complex is being investigated which consists of a solar power plant, a heat pump, a diesel power generator and hydrogen production, storage and power generation system. The complex provides together using solar energy, heat pumps, a diesel generator and a hydrogen-based energy storage system.

Key words. Solar power plant, heat pumps, diesel generator, hydrogen energy, energy complex



State Agency for Alternative and Renewable Energy Resources of Azerbaijan Republic,
Chairman - Badalov Akim Badal
Born in 1956.
Graduated the Leningrad Institute of Hydrometeorology with the direction of oceanography in 1980.
Started its labor activity at Natural Resources Space Studies Institute in 1980.
Since 1988 has worked as director of “Kaspi” Scientific-Technical Creativity Center of Youth attached to Committe of Komsomol of Kirov district.
Since 1996 has woked as chief of Supervisory Board of “Khazar” Scientific-Technical Creativity Center of Youth.
Since 2010 has worked as director of State Agency for alternative and Renewable Energy Resources of Industry and Energy Ministry of Azerbaijan Republic .
From February 01, 2013 has appointed by Order of President of Azerbaijan Republic as chief of State Agency for Alternative and Renewable Energy Resources.
Doctor of philosophy for Physical and Mathematical Sciences.
Married. Has 3 children.



State Agency for Alternative and Renewable Energy Resources of Azerbaijan Republic,
Head of Department of Technical regulation - Kalbiyev Ramiz Kalbi
Born in 1966.
Graduated the Azerbaijan University of Architecture and Construction with the direction of engineer mechanician in 1990.
Started its labor activity at the Azerbaijan University of Architecture and Construction in 1990.
Since 2007 has worked as assistant professor of the Azerbaijan University of Architecture and Construction.
Since 2011 has woked as adviser of Ministry of Energy.
Since 2013 has worked as deputy head of department of State Agency for alternative and Renewable Energy Resources of Industry and Energy Ministry of Azerbaijan Republic .
Since 2018 has worked as deputy head of department of State Agency for alternative and Renewable Energy Resources.
From June 20, 2018 has appointed as head of department of State Agency for Alternative and Renewable Energy Resources.
Doctor of philosophy for Mechanical Sciences.
Married. Has 4 children.

ВЛИЯНИЕ СТОХАСТИЧНОСТИ И НЕПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОЦЕНКИ ПРОГНОЗА, МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

ГУЛИЕВ Г.Б.

Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики

В работе предложена усовершенствованная математическая модель для прогноза выработки мощности ветростанций (ВЭС) на краткосрочные периоды. Разработаны аналитические и численные методы вероятностного потокораспределения в энергосистеме, которые позволяют оценивать параметры установившихся режимов системы с учетом стохастичности выработки мощности возобновляемыми источниками (ВИ) и мощности нагрузки. Составлена структура и предложен алгорит работы нечеткого регулятора управляющего выработкой мощности ветротурбин (ВТ) в зависимости от скорости ветра.

Ключевые слова: энергосистем, прогнозирования, моделирования, потокораспределения, установившийся режим энергосистем, возобновляемые источники энергии, регулятор нечеткой логики, нечеткая множества.

ENERJİSİSTEMİN REJİM PARAMETRLƏRİNİN PROQNOZU, MODELLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ İDARƏOLUNMASININ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNƏ BƏRPAOLUNAN MƏNBƏLƏRİN GENERASİYALARININ STOXASTİKLİYİNİN VƏ QEYRİ-MÜƏYYƏNLİYİNİN TƏSİRİ

QULİYEV H.B.

İşdə qısamüddətli periodda külək stansiyalarının istehsal gücünün proqnozu üçün təkmilləşdirilmiş riyazi model təklif olunmuşdur. Enerjisistemdə ehtimal güc paylanmasının analitik və ədədi üsulları işlənmişdir ki, bu da yükün və bərpaolunan mənbələrin güclərinin stoxastikliyini nəzərə almaqla sistemin qərarlaşmış rejim parametrlərini qiymətləndirməyə imkan verir. Küləyin sürətindən asılı olaraq külək turbininin hasilat gücünün qeyri-səlis tənzimləyicisinin strukturu tərtib edilmiş və işləmə alqoritmi verilmişdir.

Açar sözlər: enerjisistem, proqnozlaşdırma, modelləşdirmə, güclər paylanması, enerjisistemin qərarlaşmış rejimi, bərpaolunan enerji mənbələri, qeyri-səlis tənzimləyici, qeyri-səlis çoxluq.

INFLUENCE OF STOCHASTICITY AND UNCERTAINTY OF GENERATION OF RENEWABLE SOURCES ON THE ESTIMATES OF FORECAST, MODELING AND CONTROL OF POWER SYSTEM MODE PARAMETERS

GULİYEV H.B.

The paper proposes an improved mathematical model for forecasting the power generation of wind farms for short-term periods. Analytical and numerical methods of probabilistic flow distribution in the

power system have been developed, which make it possible to evaluate the parameters of steady-state modes of the system, taking into account the stochasticity of power generation by renewable sources and load power. The structure is compiled and an algorithm for the operation of a fuzzy regulator that controls the power generation of wind turbines depending on the wind speed is proposed.

Key words: power systems, forecasting, modeling, load flow, steady state regime of power systems, renewable energy sources, fuzzy logic regulator, fuzzy sets.

Введение

Рост интеграции генерации возобновляемых источников в энергосистему изменил традиционную концепцию развития энергосистем, инициировал необходимость решения новых научно-технических задач анализа режимов параллельной работы возобновляемых источников и электрических станций с традиционными источниками.

Кроме того, наиболее часто возобновляемые источники подключаются к распределительным сетям и совместно с традиционными источниками образуют систему распределенной генерации. Проектирование и эксплуатация таких систем распределенной генерации рассчитана в первую очередь на электроснабжение местных потребителей, покрытие нагрузки этих потребителей. При избытке мощности генерации система распределенной генерации может передавать мощность в энергосистему. Приобретение такого свойства распределительной сетью, при котором она становится активной, также демонстрирует новые признаки будущих энергосистем.

Динамика развития Мировой энергетики показывает, что тенденция роста доли выработки мощности от ветра и солнечных станций все более приводит к необходимости разработки новых подходов к решению режимных задач в энергосистеме при вероятностной изменчивости мощностей генерации и потребления, создания систем управления, учитывающих стохастический характер входа и выхода.

Прогнозные значения выработки мощности на станциях, равно, как и прогнозные значения мощности потребления в узлах нагрузки, наиболее часто востребованы для решения многих задач анализа и управления энергосистемой в установившихся режимах [1].

В отсутствии генерирующих источников с изменчивой выработкой мощности, т.е. когда система состоит из традиционных источников, для расчета установившихся режимов применяются известные детерминистические методы. В случае наличия в структуре генерации источников с прерывистой выработкой (ветротурбины, солнечные преобразователи), расчеты потокораспределения проводятся вероятностными методами или с применением моделирования Монте Карло и нечетких множеств [2, 3]. Эти методы при проведении расчетных экспериментов для оценки прогнозных состояний системы в качестве входных параметров по генерирующим узлам задают выборку прогнозных значений выработки на ветростанциях и солнечных установках или плотности вероятности их распределения на прогнозируемый период.

В работе предлагается метод, основанный на использовании модели процесса авторегрессии – скользящего среднего (АРМА). На основе расчетных экспериментов показано, что получение оценки прогнозных значений выработки мощности обладает высокой точностью для прогнозирования мощности ВЭС в краткосрочные периоды.

1. Обоснованность применимости методы АРМА для расчета прогнозных значений выработки мощности на ВЭС.

Для определения выработки мощности на ветростанциях предложены различные модели их вычисления по замерам ветроскоростей, сущность которых сводится к следующим выражениям [4]:

$$P(V)=\begin{cases} P_r\cdot\left(A_2V^2+A_1V+A_0\right), & V_{ci}\le V_t<V_r \\ P_r, & V_r\le V_t<V_{co} \\ 0, & 0\le V_t<V_{ci} \\ 0, & V_{co}\le V_t \end{cases} \quad (1)$$

где $$A_2=\frac{1}{\left(V_{ci}-V_r\right)^2}\left[2-4\left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r}\right)^3\right] \quad (2)$$

$$A_1=\frac{1}{\left(V_{ci}-V_r\right)^2}\left[4\left(V_{ci}+V_r\right)\cdot\left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r}\right)^3-3\left(V_{ci}+V_r\right)\right] \quad (3)$$

$$A_0=\frac{1}{\left(V_{ci}-V_r\right)^2}\left[V_{ci}\left(V_{ci}+V_r\right)-4V_{ci}V_r\left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r}\right)^3\right] \quad (4)$$

где V_r – расчетная скорость ветра, при которой выработка мощности достигает номинального значения; V_{ci}–скорость ветра, при которой ветротурбина начинает вращаться, м/с; V_t – текущее значение скорости ветра, замеренной в момент времени t, м/с; V_{co}–критическое значение скорости ветра, при которой ветротурбина останавливается, обычно принимается равной и выше 25 м/с.

В принципе модель (1) позволяет вычислять текущие значения выработки мощности ветротурбины синхронно с замерами ветроскорости. В работе для вычисления мощности используются усредненные минутные замеры ветроскорости. Для получения прогнозных значений выработки мощности во внутрисуточных циклах на час вперед исследуется предыстория (выборка) расчетных значений величины этой мощности с усреднением 5 минут и длительностью в одну неделю, т.е. получение прогноза за 1 или 2 часа вперед (12 или 24 измерений) используются выборки длительностью 168 часов (4032 измерений).

Для обоснования применимости смешанного процесса АРМА (процесса авторегрессии – скользящего среднего) для прогнозирования мощности турбины на час-два вперед на расчетной выборке, сформированной в вышеуказанном порядке, необходимо выполнение условий стационарности и обратимости для прогнозируемого процесса [5].

Проверку стационарности выработки мощности ветротурбины можно провести разными способами. В данной работе используются критерии Фишера и Стьюдента. Применение этих критериев позволяет идентифицировать длительность выборки стационарного ряда значений выработки мощности, и тем самым сократить объем информации для прогноза. Таким образом, тестирование на стационарность ряда, составленного из значений мощности ветротурбины, в соответствии с критериями Фишера и Стьюдента проводится на основе сравнения оценок для среднего, дисперсии и ковариации для выборок рядов, составленных из генеральной выборки делениями на участки [6].

После определения ряда, удовлетворяющего условиям стационарности, строятся процессы авторегрессии и скользящего среднего. По модулям, эквивалентирующим эти процессы, устанавливается удовлетворительность условий обратимости в соответствии с [7].

2. Модель авторегрессии–скользящего среднего для прогнозирования выработки мощности ветротурбинами.

Задача прогнозирования в данном случае состоит в определении коэффициентов полиномов авторегрессии AR (p) и скользящего среднего MA (q), по данным выборки выработка мощности ветротурбинами ветростанции $P(t)$:

$$P(t)=\sum_{j=1}^{P}a_jP_{t-j}+\sum_{j=0}^{q}b_je_{t-j} \quad (5)$$

или

$$A(P)P(t)=B(q)e(t) \quad (6)$$

где a_j, b_j –коэффициенты авторегрессии и скользящего среднего.

Решение управления (5) полагает, что прогноз на h периодов вперед, начиная с момента t_0, будет надежным, если все значения выборки мощности будут известны и заданы до момента t_0.

Таким образом, сущность прогнозирования сводится к идентификации модели – определению ее порядков p, q, а также параметров a_j, b_j и экстраполяции этой модели на шаг вперед. Проверка удовлетворения модели экстраполяции условиям оптимальности полученных прогнозных оценок выработки мощности и ее предварительно заданных значений позволяет определить наилучший интервал прогноза (или число шагов вперед) в смыслах принятых условий.

Условием выбора наилучшего прогноза выработки мощности принимается практическое совпадение статистических характеристик участка ряда выборки, по которому идентифицируется модель, с соответствующими характеристиками оставшейся части ряда выборки, по которой проводится прогнозирование.

Сравнение производится по следующим характеристикам:

Погрешность:

$$e_t=y_t-y_t^{sim} \quad (7)$$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta_t=\left|y_t-y_t^{sim}\right| \quad (8)$$

Средняя абсолютная погрешность:

$$MAE=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|e_t\right| \quad (9)$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon_t=\frac{\left|e_t\right|}{y_t}\cdot 100\% \quad (10)$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}e_t^2}{n}} \quad (11)$$

Средняя относительная ошибка прогноза:

$$MAPE=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\frac{\left|e_t\right|}{y_t}\cdot 100\% \quad (12)$$

Коэффициент несоответствия Тейла:

$$TC=\frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum e_t^2}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}y_t^2}+\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}y_t^{sim^2}}} \quad (13)$$

3. Тестовые модели АРМА для 30 и 60 минутных прогнозов выработки мощности ветротурбиной.

Моделирование и исследование процесса выработки мощности проведены с помощью математических средств Matlab с применением программного комплекса ARMA Modelling. Для построения прогнозных моделей выработки мощности ветротурбинами, размещенными в офшорной зоне Апшерона, использовались данные замеров скоростей ветра в различных секторах Каспийского моря на высоте 10 и 50 метра от поверхности земли. В качестве примера здесь приводятся результаты прогнозных оценок выработки мощностей ветра установками FL-2500, полученные по замерам скоростей ветра для одного из секторов, размещенного на севере Апшеронского полуострова (рис. 1). Соответствующая этим скоростям выработка мощности изображена на рис. 2. Примем данные расчетного эксперимента выработки мощности в качестве экспериментальной выборки для прогноза.

Для проверки выполнимости данной выборкой условий стационарности и обратимости проведена сравнительная оценка средних значений, дисперсий и автокорреляций двух отдельных выборок, составленных каждая из половин общей выборки.

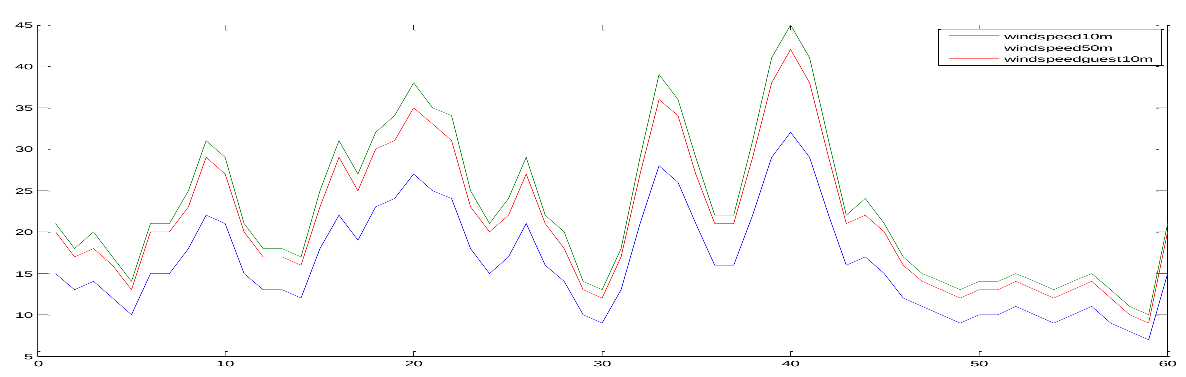


Рис. 1. Фрагмент скорости ветра за период 01.01.08-15.01.08 (усредненные 5-ти минутные измерения)

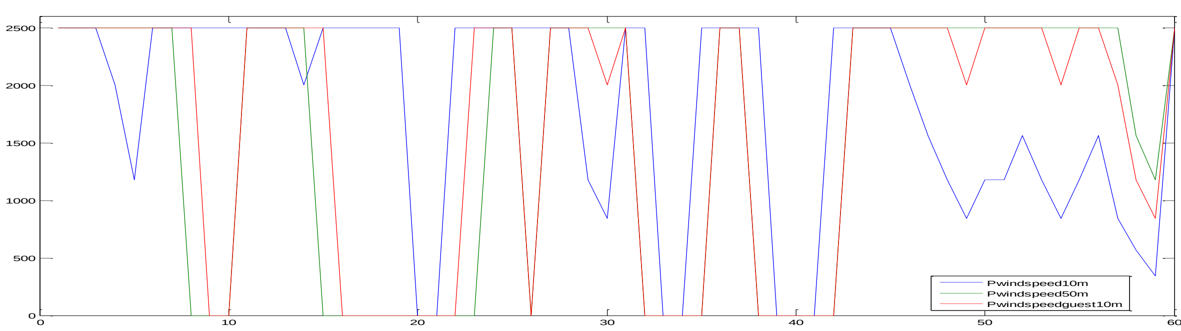


Рис. 2. Выработки мощности ветротурбины FL-2500 на скоростях ветра для периода 01.01.08-15.01.08

Получены следующие оценки для каждой половинной выборки:

$$\tilde{y}_1 = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{n} X_{t(1\div30)} = 1416{,}7$$

$$\tilde{y}_2 = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{n} X_{t(31-60)} = 1674{,}7$$

$$\tilde{\sigma}_1^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{t=1}^{n}\left(X_{t(1-30)} - \tilde{y}_1\right)^2 = 1{,}5876e^6$$

$$\tilde{\sigma}_1^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{t=1}^{n}\left(X_{t(31-60)} - \tilde{y}_2\right)^2 = 1{,}3256e^6$$

Проверка критерия Фишера:

$$F_\sigma = \frac{\tilde{\sigma}_1^2}{\tilde{\sigma}_2^2} = 1{,}1976$$

$$\tilde{\sigma}_1^2 > \tilde{\sigma}_2^2, \quad F_\sigma > 1$$

$\nu_1 = n_1 - 1 = 29$; $\nu_2 = n_2 - 1 = 29$; $\alpha = 0{,}05$; $F_T = 1{,}8546$; $F_\sigma < F_{Tab}$; $\tilde{\sigma}_1^2 = \tilde{\sigma}_2^2$

Проверка критерия Стьюдента:

$$t_\phi = \frac{(\tilde{y}_1 - y_2)}{\tilde{\sigma}\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = 0{,}82793$$

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{2}\left(\tilde{\sigma}_1^2 + \tilde{\sigma}_2^2\right)} = 1206{,}9$$

$$\alpha = 0{,}05;\ \nu = n_1 + n_2 - 2 = 58 \Rightarrow t_t = 2{,}002;\ t_\phi < t_t$$

Различия между средними уровнями $\tilde{y}_1$ и $\tilde{y}_2$ признаются несущественными: $\tilde{y}_1 \cong \tilde{y}_2$

Как показывают оценки, полученные по Критериям Фишера и Стьюдента, исходная выборка практически удовлетворяет условиям стационарности и обратимости. Стационарность также подтверждается по виду корреляционной зависимости, показанной на рис. 3. Как видно из данного рисунка, автокорреляция имеет очень короткий период затухания.

Для проведения расчетных оценок прогноза выработки мощности на h шагов вперед принято, что экспериментальная выборка состоит из выборки обучения, объемом порядка 75-80% от исходной выборки (в нашем случае это охватывает осредненные измерения с первого по 45 и числа шагов прогноза вперед *h)*.

В соответствии с данными измерений, составляющих исходную выборку, получена следующая модель прогноза:

$$A(p) = 1 - 2{,}157p^{-1} + 1{,}582p^{-2} - 0{,}5942p^{-3} + 0{,}5489p^{-4} - 0{,}3954p^{-5} - 0{,}2493p^{-6} + \\ + 0{,}3965p^{-7} + 0{,}02424p^{-8} - 0{,}08931p^{-9} - 0{,}06818p^{-10} \qquad (14)$$

$$C(q) = 1 - 1{,}848q^{-1} + 0{,}9461q^{-2} \qquad (15)$$

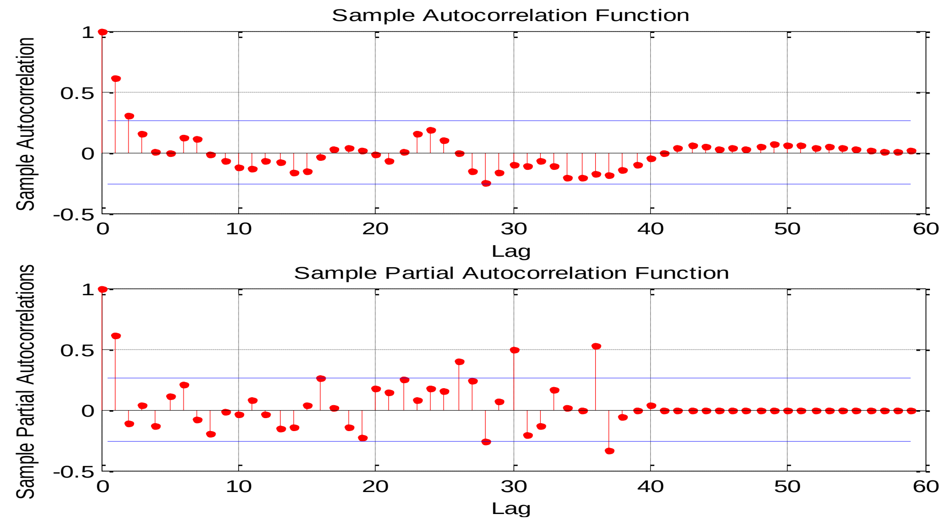


Рис. 3. Автокорреляционная зависимость исходной выборки экспериментальных данных значений выработки мощности ветротурбиной

На рис. 4 и рис. 5 приводятся графики отклонения выработки мощности ветротурбиной после обучения и в прогнозные периоды. Как видно из сравнения параметров, характеризующих обученную модель, и модели прогноза, их совпадения является удовлетворительными.

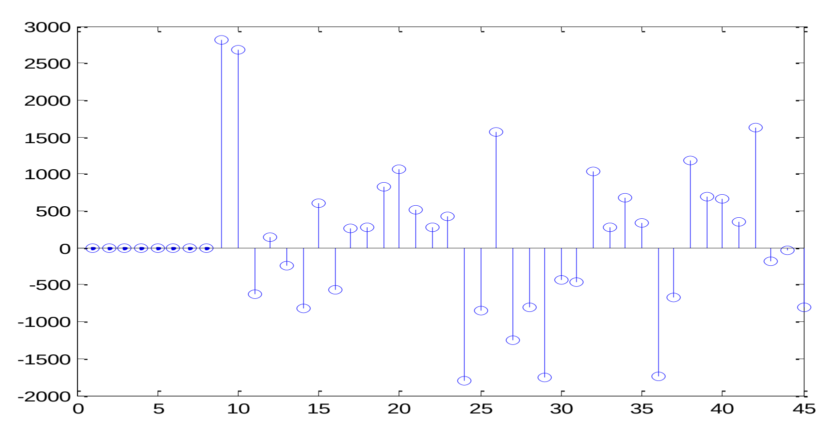


Рис. 4. График отклонения выработки мощности ветротурбиной после обучения по модели

RMSE=972,87; MAE=693,46; TC=0,31825

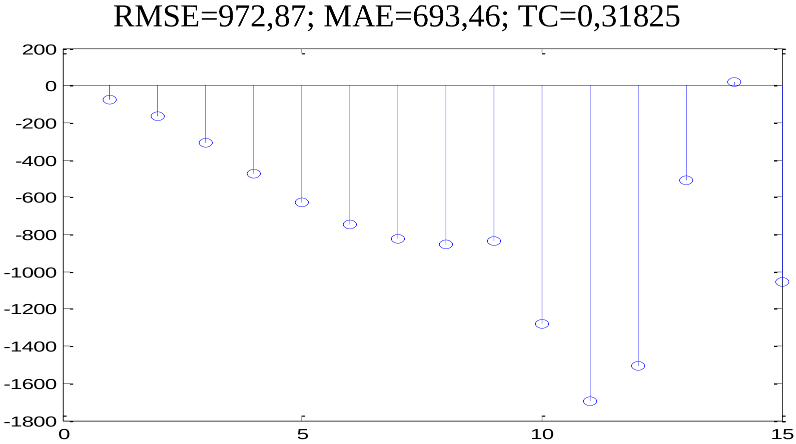


Рис. 5. График отклонения выработки мощности ветротурбиной в прогнозные периоды

RMSE=877,56; MAE=731,26; TC=0,19138

4. Учет стохастичности мощности генерации ветростанцией при моделировании режимов энергосистемы.

Процесс развития ветро- и солнечной энергетики одновременно создает проблемы,связанные с необходимостью проведения ряда технических изменений при подключении ветро- и солнечных источников к энергосистеме. Эти изменения вызваны, в первую очередь, случайным характером выработки мощности ветрогенераторами и солнечными PV установками, что в значительной степени отражается на качестве электрической энергии и устойчивости напряжения. Решение проблемы устойчивости напряжения в энергосистеме становится все более актуальным по мере роста мощности подключенных ВЭС, ветротурбины которых снабжены асинхронными генераторами двойного питания (АГДП). Отличительной особенностью АГДП от других типов ветрогенераторов является то, что в процессе производства активной мощности он потребляет реактивную мощность. В настоящее время проведено много работ, посвященных моделированию и исследованию режимов работ ветротурбин разного типа, в том числе и АГДП [8 - 13].

Рост мощности генерации от ветроисточников, подключенных к энергосистеме, и стохастический характер изменчивости этой мощности увеличивают потребляемую реактивную мощность в распределительной электрической системе и, таким образом, создают риски появления неустойчивости напряжения в системе.

При этом необходимо отметить, что степень влияния фактора стохастичности мощности, генерируемой ветростанцией, на режим системы будет зависеть не только от вероятностных характеристик этой генерации, но также и от исходного состояния схемы системы, вероятностных характеристик мощности нагрузки, ее распределения в отдельные периоды суток. Для оценки влияния каждого из указанных факторов проведено достаточное количество исследований [14]. В этих работах статистический анализ базируется на результатах многократно повторяющихся расчетов режима системы, проводимых по детерминистическим моделям с разными дискретно заданными входными переменными- величинами мощностей генерации и нагрузок.

Исследование влияния ветростанции на устойчивость напряжения является важным для определения предельной величины установленной мощности возобновляемых источников (ВИ), подключаемых к энергосистеме, обеспечения надежности функционирования системы в условиях эксплуатации, т.е. сохранения устойчивости напряжения во всех узлах электрической системы при флуктуациях выработки от ВИ. В работе рассматривается задача оценивания вероятности распределения критического значения напряжения при стохастичности выработки мощности ВИ. Вероятностная модель режима системы при стохастических изменениях мощности генерации ВЭС может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \Delta P_i = P_{g(i)}(\lambda) + \tilde{P}_{ВИ,(i)} - P_{H(i)}(\lambda) - \tilde{U}_i \sum_{j=1}^{N} \tilde{U}_j \left(G_{ij} \cos\delta_{ij} + B_{ij} \sin\delta_{ij} \right) = 0 \\ \qquad i \in N = \left(N_{PU} + N_{PQ} \right) \\ \Delta Q_i = Q_{g(i)}(\lambda) + Q_{CR(i)} - \tilde{Q}_{ВИ,(i)} - Q_{H(i)}(\lambda) - \tilde{U}_i \sum_{j=1}^{N} \tilde{U}_j \left(G_{ij} \sin\delta_{ij} - B_{ij} \cos\delta_{ij} \right) = 0 \\ \qquad i \in N_{PQ} \end{cases} \tag{16}$$

где, $P_{g(i)}(\lambda), Q_{g(i)}(\lambda)$-выработка активной и реактивной мощности традиционными источниками, подключенными к узлу i; $\tilde{P}^t_{BT(i)}, \tilde{Q}^t_{WT(i)}$ – значения случайных величин выработки активной мощности и потребления реактивной мощности ВИ в периоды времени t; $P^t_{H(i)}, Q^t_{H(i)}$ - активные и реактивные мощности нагрузки в узле i; $Q_{CR(i)}$ - мощность компенсирующего устройства, подключенного к узлу i; G_{ij}, B_{ij} - активные и реактивные проводимости связи между узлами i и j; λ – коэффициент загрузки сети (коэффициент прироста нагрузки); N - общее число узлов сети, $N = N_{PV} + N_{PQ}$; $\tilde{U}_i, \tilde{U}_j$ - расчетные напряжения в узлах i и j системы для заданных значений $P^{t_k}_{ВИ(i)}\, Q^{t_k}_{ВИ(i)}$; $t_К$ – k-ое фиксированное значение времени.

Выборка значений выработки мощности ВТ{ $P^{tк}_{ВИ(i)}, Q^{tк}_{ВИ(i)}$} для определенных периодов времени составляется на основе расчетных экспериментов с использованием данных измерений (или получаемых моделированием) скоростей ветра, ранжируемых на четыре интервала их изменений: скорость, при которой ВТ запускается в работу, скоростей, при которой ВТ прекращает (останавливается) работу; скорость, при которой ВТ производит номинальную мощность; номинальная скорость, при которой ВТ производит максимум мощности.

Оценка устойчивости напряжения с помощью вышеприведенных вероятностных моделей проводится на основе анализа результатов вероятностного потокораспределения (ВП), с использованием большого количества повторяющихся расчетов. Исследования влияния стохастичности выработки мощности ВЭС и ее влияние на устойчивость напряжения, определение

максимально возможной мощности ВЭС, подключаемой к энергосистеме, проводились в системе “Азерэнержи”.

На рис. 6 показана упрощенная схема исследуемой системы, представленная в виде двух связанных частей, к одной из которых подключен ветропарк, состоящий из ветротурбин с единичной мощностью 2,5 МВт.

Расчетные эксперименты проводились с учетом поэтапного роста суммарной установленной мощности ветропарка на 50 МВт на каждом этапе развития. На основе исследования вероятностных характеристик скоростей ветра и соответствующих изменений выработки мощности [15, 16] было принято, что следует моделировать эти изменения в интервале (0-5%), (0-10%) и (0-20%).

Ниже приводятся результаты ВП при стохастичности изменения генерации от ветропарка в указанных диапазонах.

5. Вероятностные характеристики изменчивости напряжений в узлах при работе ВЭС

В работе [17] проводились исследования на основе минутных замеров скоростей ветра. На рис. 7 и рис. 8 представлены соответственно фрагменты скорости ветра и изменения выработки мощности ВЭС. Относительное среднее значение скорости ветра в данном периоде наблюдения составляло $\approx 12{,}5\, м/с$. Период измерения соответствовал времени утреннего максимума нагрузки. Как видно из данной кривой, среднее значение выработки мощности станцией в данный период составляло 15 МВт (рис. 8).

На основе данных по выработке сформирована случайная выборка ее значений, которая использована для проведения повторяющихся расчетов потокораспределения. На рис. 9 приведена кривая изменения значений напряжения в точке связи региона энергосистемы с ветростанцией с остальной частью системы (на рис.6 п/ст 110 кВ “Хурдалан”) при работе ВЭС со средней скоростью 12,5 м/с. Как видно из рис 11, напряжение изменяется в интервале $\pm 0{,}3\%$ относительно исходного значения.

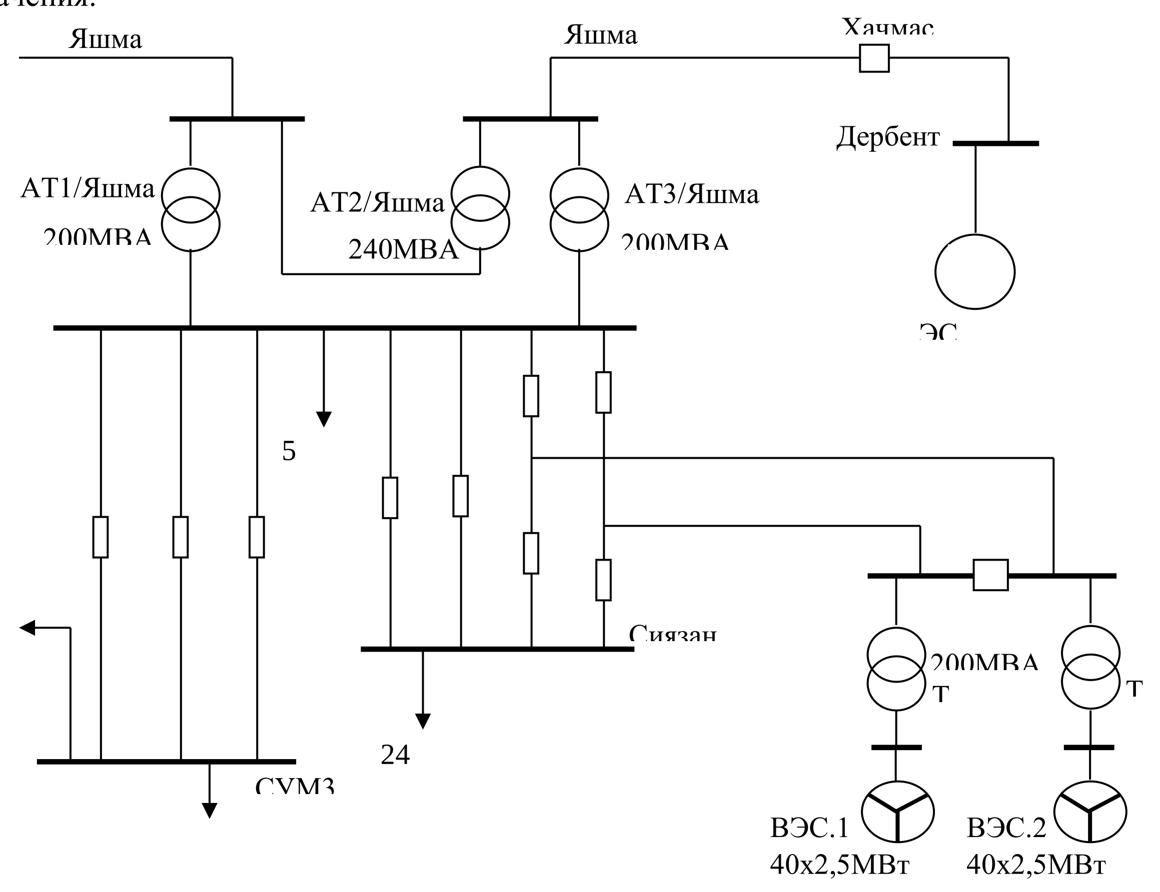


Рис. 6. Упрощенная однолинейная схема сети

На основе расчетных экспериментов для разных интервалов скоростей ветра в характерные периоды суток получены траектории утяжеляемых режимов, вплоть до максимума загрузки сети при изменениях скоростей ветра в интервале (5,5 м/с ÷11,2 м/с) (рис.10).

На рис. 11 приводится кривая вероятности распределения напряжения в данном периоде наблюдения работы ветростанции на систему.

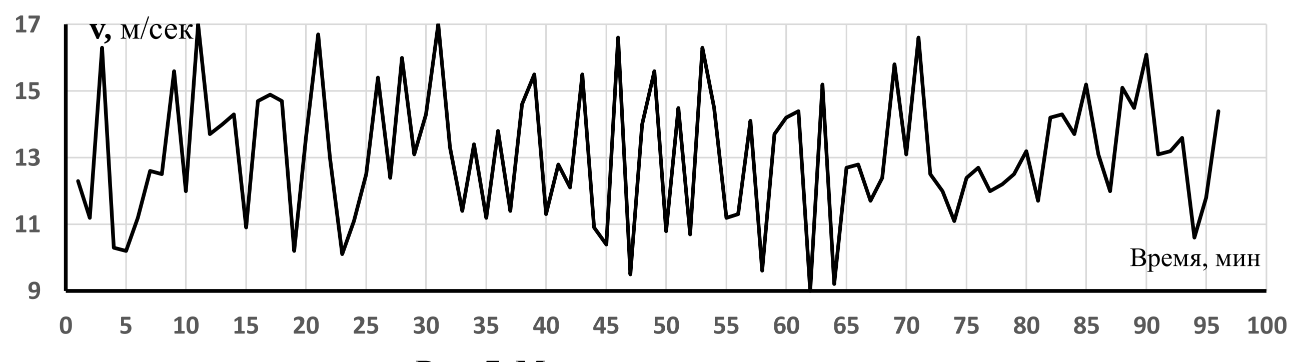


Рис. 7. Минутные изменения скорости ветра

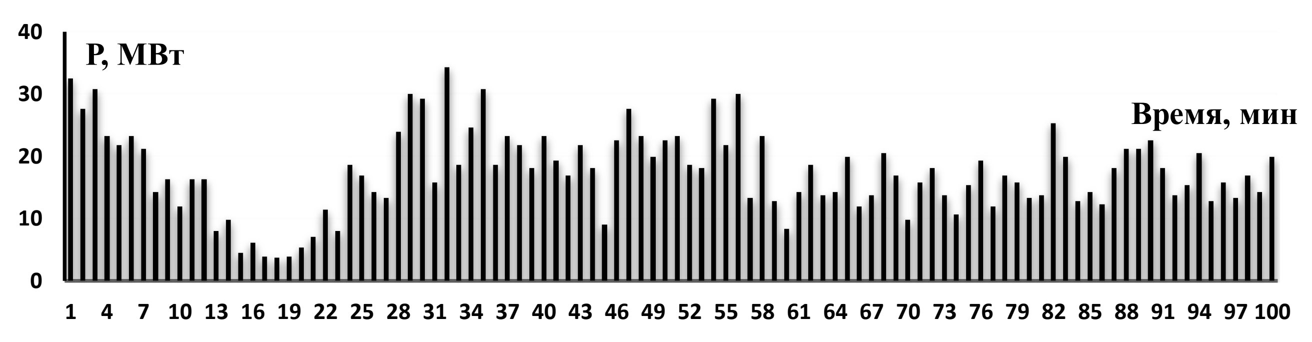


Рис 8. Изменение мощности ВЭС

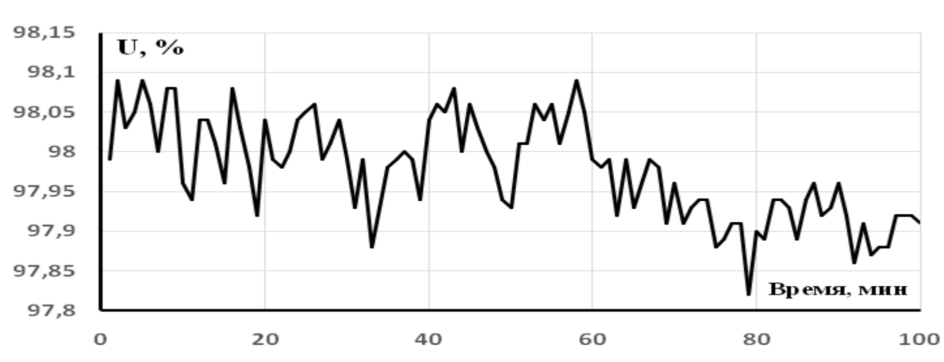


Рис. 9. Изменения напряжения



Рис. 10. Изменения скоростей ветра

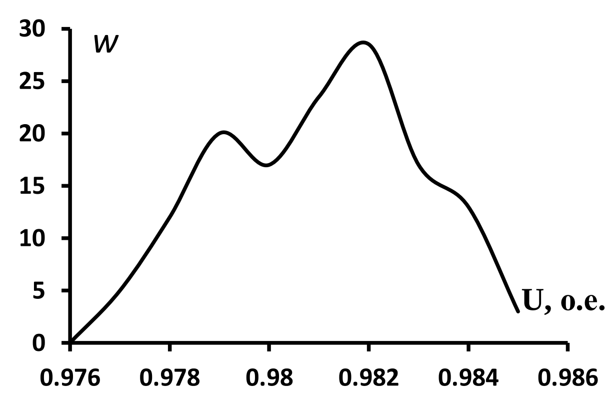


Рис. 11. Частота распределения напряжения

6. Интеллектуальные технологии управления ветроэнергетическими установками

Устранение или уменьшение флуктуаций мощности ветроэнергоустановок (ВЭУ) можно осуществить путем повышения чувствительности и точности регулятора [18, 19]. В работе [20] решение вышеуказанной проблемы решается на основе НЛ - нечётких контроллеров (НК).

В [21] рассмотрены вопросы синтеза нечеткого регулятора управления выходной мощностью ВЭУ. Следует отметить, что в предлагаемых алгоритмах не учтена динамика изменения скорости ветра, что не обеспечивает необходимую эффективность работы ветротурбины в распределительных электрических сетях.

В работе предлагается алгоритм управления выходной мощностью ВЭУ. Данный алгоритм позволяет учесть динамику изменения скорости ветра, с применением аппарата нечеткой логики и нечеткого множества, повышающими как эффективность работы ветротурбины, таки режимную надежность распределительных сетей в целом.

Для синтеза НК ВЭУ можно использовать лингвистическую нечеткую модель, которая для системы с двумя входами и одним выходом имеет вид:

$$
\begin{gathered}
IF\ X_{11} = A_{11}\ AND\ X_{21} = A_{21}\ THEN\ Y_1 = B_1 \\
ELSE \\
IF\ X_{12} = A_{12}\ AND\ X_{22} = A_{22}\ THEN\ Y_2 = B_2 \\
ELSE \\
\cdots\cdots\cdots\cdots \\
ELSE \\
IF\ X_{1i} = A_{1i}\ AND\ X_{2j} = A_{2j}\ THEN\ Y_i = B_i
\end{gathered}
\quad (17)
$$

где X_1 и X_2 - лингвистические переменные, включающие переменные состояния и управления процесса; A_1, A_2 и B– лингвистические значения переменных X_1, X_2 и У в множествах E_1, E_2 и W, т.е. для $\forall x_{1i}\ \ A_{1i} \in E_{1i}$, $\forall x_{2j}\ \ A_{2j} \in E_{2j}$ и $\forall y_k\ \ B_k \in W$, с $i = \overline{1,n}$, $j = \overline{1,m}$, $k = \overline{1,l}$.

Для лингвистических переменных X_1 и X_2 принята функция принадлежности, имеющая треугольную форму с параметрами *a, b* и с:

$$
\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & c < x \end{cases} \quad (18)
$$

При работе контроллера по алгоритму Мамдани (поддерживание отклонения активной мощности в нормируемых пределах) на вход НК подавались:

- вычисленное или измеренное значения скорости ветра (лингвистическая переменная «Скорость»)с термами $T_i(V_0)$, где $V_{0i} \in E_{1i}$ с $i = \overline{1,8}$:

$$E_{11} = W \quad \text{(Слабая)} \quad \underline{\Delta}(V_0, \mu_{11}(V_0))$$
$$E_{12} = M \quad \text{(Умеренная)} \quad \underline{\Delta}(V_0, \mu_{12}(V_0))$$
$$E_{13} = UM \quad \text{(Повышенная)} \quad \underline{\Delta}(V_0, \mu_{13}(V_0))$$
$$E_{14} = St \quad \text{(Сильная)} \quad \underline{\Delta}(V_0, \mu_{14}(V_0))$$
$$E_{15} = D \quad \text{(Крепкая)} \quad \underline{\Delta}(V_0, \mu_{15}(V_0)) \qquad (19)$$
$$E_{16} = VD \quad \text{(Очень крепкая)} \quad \underline{\Delta}(V_0, \mu_{16}(V_0))$$
$$E_{17} = StG \quad \text{(Штормовая)} \quad \underline{\Delta}(V_0, \mu_{17}(V_0))$$
$$E_{18} = PStG \quad \text{(Ураганная)} \quad \underline{\Delta}(V_0, \mu_{18}(V_0))$$

- вычисленные дифференциатором значения производной скорости (лингвистическая переменная «Динамика»)ветра с термами $T_j\left(\frac{dV_0}{dt}\right)$, где $\frac{dV_0}{dt} \in E_{2j}$ с $j = \overline{1,5}$:

$$E_{21} = NB \quad \text{(отрицательно большая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}\left(\frac{dV_0}{dt}, \mu_{21}\left(\frac{dV_0}{dt}\right)\right)$$
$$E_{22} = NS \quad \text{(отрицательно малая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}\left(\frac{dV_0}{dt}, \mu_{22}\left(\frac{dV_0}{dt}\right)\right)$$
$$E_{23} = Z \quad \text{(нулевая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}\left(\frac{dV_0}{dt}, \mu_{23}\left(\frac{dV_0}{dt}\right)\right) \qquad (20)$$
$$E_{24} = PS \quad \text{(положительно малая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}\left(\frac{dV_0}{dt}, \mu_{24}\left(\frac{dV_0}{dt}\right)\right)$$
$$E_{25} = PB \quad \text{(положительно большая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}\left(\frac{dV_0}{dt}, \mu_{25}\left(\frac{dV_0}{dt}\right)\right)$$

С выхода контроллера снимались значения лингвистических переменных «Угол поворота лопастей» с термами $T_k(\alpha)$, где $\alpha_k \in W_k$ с $k = \overline{1,8}$:

$$W_1 = Z \quad \text{(Нулевая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}(\alpha, \mu_1(\alpha))$$
$$W_2 = VS \quad \text{(Очень малая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}(\alpha, \mu_2(\alpha))$$
$$W_3 = S \quad \text{(Малая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}(\alpha, \mu_3(\alpha))$$
$$W_4 = A \quad \text{(Средняя)} \quad \underline{\underline{\Delta}}(\alpha, \mu_4(\alpha))$$
$$W_5 = B \quad \text{(Большая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}(\alpha, \mu_5(\alpha)) \qquad (21)$$
$$W_6 = VB \quad \text{(Очень большая)} \quad \underline{\underline{\Delta}}(\alpha, \mu_6(\alpha))$$
$$W_7 = L \quad \text{(Предельная)} \quad \underline{\underline{\Delta}}(\alpha, \mu_7(\alpha))$$

На базе рассуждений вида (19) - (21) разработана лингвистическая таблица правил нечеткого регулятора для ВЭУ. При двух входных (переменные «Скорость» и «Динамика») и одной выходной («Угол поворота лопастей») лингвистических переменных алгоритм управления НК ВЭУ представлен прямоугольной матрицей-таблицей (Таблица 1). В Табл. 1 в первой строке расположены

термы-подмножества переменной «Динамика» - $T_{\frac{dV_0}{dt}}$, а в первом столбце термы-подмножества переменной «Скорость» - T_{V_0}.

Таблица 1

Матрица нечеткого алгоритма управления выходной мощностью ВЭУ

$T_{V_0} / T_{\frac{dV_0}{dt}}$	**W**	**M**	**UM**	**St**	**D**	**VD**	**StG**	**PStG**
NB	L	L	VB	B	B	A	Z	Z
NS	L	VB	B	B	A	A	S	Z
Z	L	L	L	VB	B	A	Z	S
PS	L	L	VB	VB	B	A	S	VS
PB	VB	VB	B	A	S	VS	Z	Z

Для дефаззификации, т.е. отображения из допустимого пространства нечетких управляющих воздействий в пространство четких управляющих воздействий, использована стратегия центра тяжести, так как дает лучшую статическую точность.

Результирующая функция принадлежности управляющего воздействия определяется с применением махмин-ной композицией Л.Заде:

$$\mu_\Sigma(z) = \min\left(\max\left(\mu_{1i}(V_0), \mu_{2j}\left(\frac{dV_0}{dt}\right)\right)\right) \tag{22}$$

Для приведение к четкости (нахождения z_0), стратегия центра области генерирует центр тяжести распределения возможностей результирующего управляющего воздействия. В случае непрерывного множества эта стратегия дает:

$$z_0 = \frac{\int_\Omega z\mu_\Sigma(z)dz}{\int_\Omega \mu_\Sigma(z)dz} \tag{23}$$

где n - число уровней квантования выхода.

Моделирование работы НК осуществлялось в среде MATLAB на базе пакета Fuzzy Logic Toolbox. В качестве объекта управления был использована ВЭУ модели FL-2500/90, установленная в распределительных сетях на севере Апшеронского полуострова (Азербайджан), а на рис. 12 приведена структурная схема подключения ветростанций мощностью 50МВт к этой сети.

На рис. 13 приведена кривая изменения выходной мощности ВЭУ в зависимости от скорости ветра на базе FL-2500.

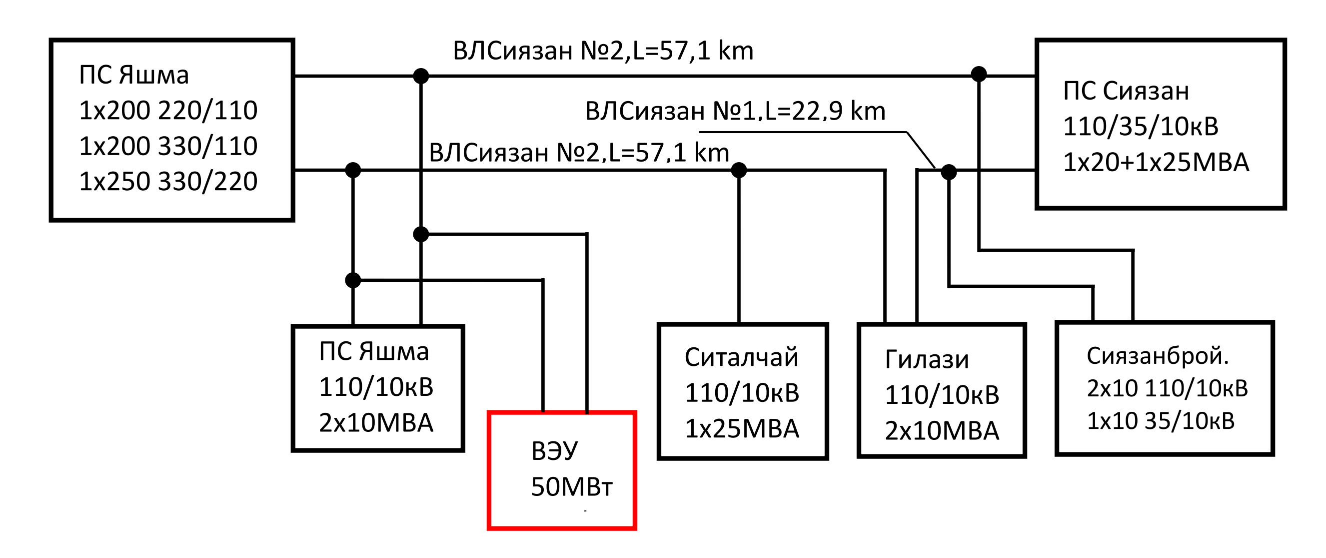


Рис. 12. Схема подключения ветростанция к сети «Азерэнержи»

На рис. 14 показаны сравнительные кривые изменения выходной мощности ВЭУ, полученные в зависимости от скоростей и динамики изменения скорости ветра при традиционном и нечетком управлении при номинальной нагрузке рассмотренного узла электрической сети.

Изменение напряжения на ВЭУ при этом представлено на рис. 14. Как видно из рисунков, при нечетком управлении выходной мощности ВЭУ поддерживается в пределах 2200 – 2500 кВт, и выходное напряжение при этом практически стабильно меняется в пределах около 100%.

На рис. 16 представлены кривые изменения выходной мощности ВЭУ при минимальной и максимальной нагрузке без включения и с включением станций ВЭУ с суммарной мощностью 50 МВт. Как видно, напряжения в потребительских шинах находятся в пределах 97 – 100%, что и обеспечивает требование, предявляемое к режимной надежности электрической сети по напряжению.

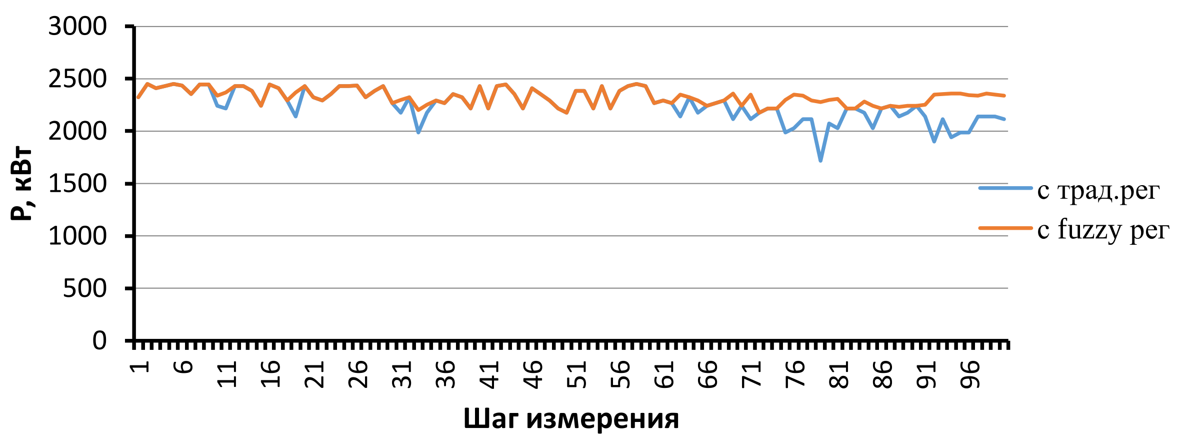


Рис. 13. Изменение выходной активной мощности ВЭУ при нормальной нагрузке

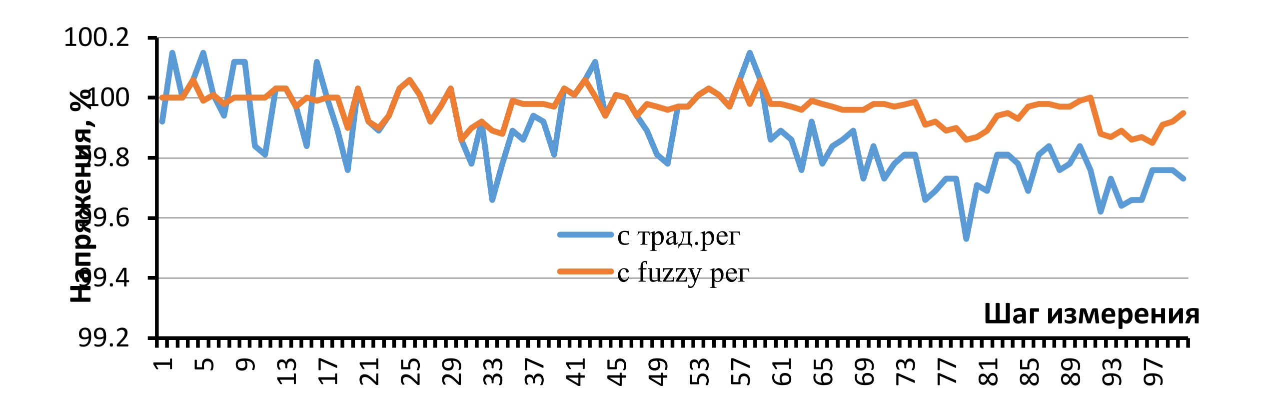
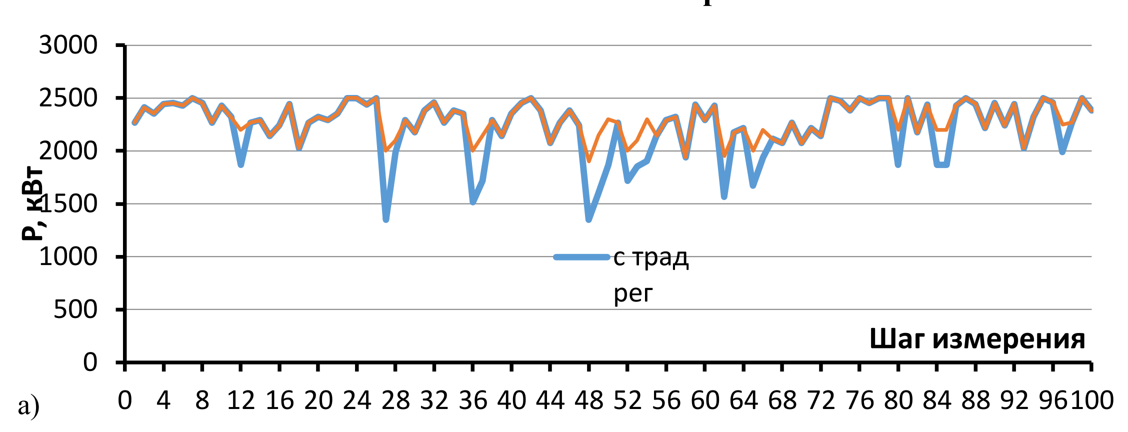


Рис. 14. Изменение напряжения ВЭУ

а)



б)

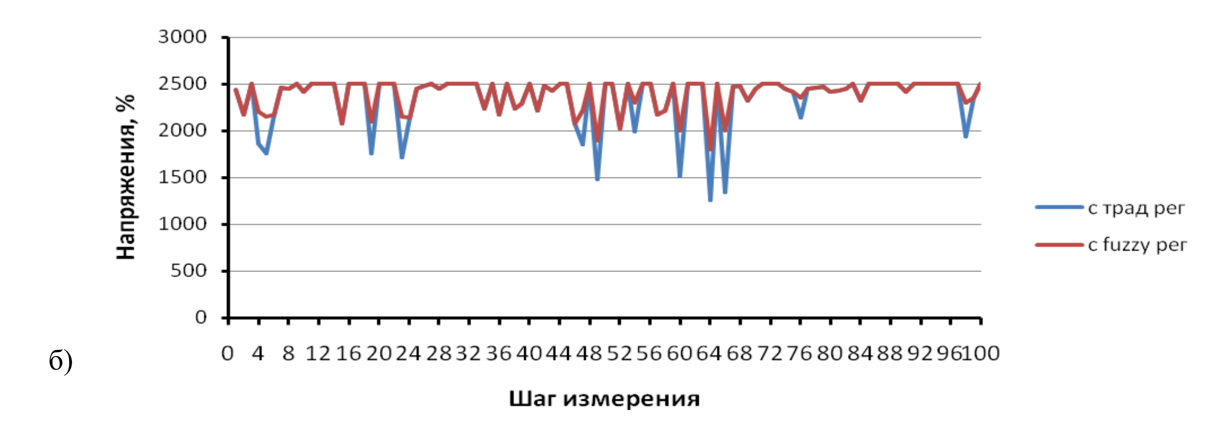


Рис. 15. Изменение выходной активной мощности ВЭУ при минимальной (а) и максимальной (б) нагрузке

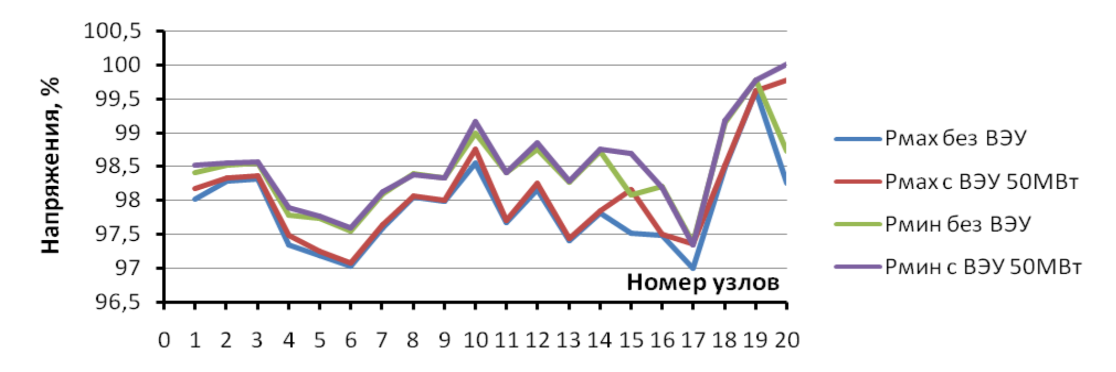


Рис. 16. Изменение напряжения ВЭУ при минимальной и максимальной нагрузках

Результаты компьютерного моделирования свидетельствуют о том, что регулятор нечеткой логики более стабильно обеспечивает выходной активной мощностью ВЭУ, входящие в состав электрической сети с распределенной генерацией по сравнению с традиционным регулятором, и выходное напряжение при этом находится в допустимой области, что способствует повышению режимной надежности электрической сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Предложена усовершенствованная модель АРМА для прогноза выработки мощности ВЭС на краткосрочные периоды (до 60 мин), позволяющая идентифицировать длительность стационарности выборки из множества измерений и тем самым сократить объем информации для оперативного получения прогноза. Условие наилучшего прогноза величины выработки мощности - близость статистических характеристик определённых выборок, по которым идентифицируется модель оценки прогноза.

2.Предложены аналитические и численные методы вероятностного потокораспределения в энергосистеме, которые позволяют оценивать параметры установившихся режимов системы с учетом стохастичности выработки мощности возобновляемыми источниками и мощности нагрузки. Полученные характеристики распределения вероятностей напряжения позволяют определить влияние роста доли интегрируемой мощности возобновляемых источников на режим системы.

3. Составлена структура нечеткого регулятора, управляющего выработкой мощности ВТ в зависимости от скорости ветра. Отличительной особенности предлагаемого регулятора состоит в дополнительном учете динамика изменения скорости ветра, вычисляемая дифференциатором значения производной скорости. Таким образом, путем компенсации флуктуаций мощности ВТ можно осуществить повышение чувствительности и точности регулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Su, C.-L. Probabilistic load-flow computation using point estimate method // IEEE Trans. Power Syst., – 2005, – Vol. 20, – No.4, – p.1843-1851.
2. Usaola, J. Probabilistic load flow in systems with wind generation // IET Gener. Transm. Distrib., – Feb., 2009, – Vol. 3, – No.12, –p. 1031-1041.
3. Zadeh, L.A. Probability measures of Fuzzy events // Matematical Analysis and Applications, – 1968, – Vol. 23, – No. 2, – p. 421-427.
4. Rahmanov, N., Ahmadova, S., Bilbao, J. Distributed Generation system with renewable energy sources: GRID Modeling and simulation // Proceedings of IEEE Regional Conference Euro Con 2013, – Zagreb, Croatia: –1-4 July 2013, – p.984-991.
5. Цыплаков, А. Введение в прогнозирование в классических моделях временных рядов //–Москва: Международный эконометрический журнал, Квантиль,–2006, №1.–с.10-19.
6. Pinson P. Non-parametric Probabilistic forecasts of wind powet required properties and evalution / P.Pinson, H.A.Nielsen, J.K.Moller, H.Madsen, G.Kariniotakis // Wind Energy in Press, – 21 May 2007. – p.497-516.
7. Taleb, M. Perfomance of a Hybrid Wind-Grid-Load Energy System / M.Taleb, H.Salman, H.Jumaa, H.Al-mukharreq // Jurnal of Technology Innovations in Renewable Energy, – 2002, – Vol.1, – No.1, – p.48-52.

8. Мустафаев, Р.И. Модель для исследования режимов работы ветроэлектрических установок с асинхронными машинами двойного питания в энергосистеме / Р.И.Мустафаев, Л.Г.Гасанова // Энергетика, – Минск: – 2012, №3. – с. 27-39.
9. Мустафаев, Р.И. Моделирование угла поворота лопастей ветродвигателя ветроэлектрической установки, работающей на электрическую сеть / Р.И.Мустафаев, Л.Г.Гасанова // Электротехника, – Москва: – 2011, №12. – с. 22-27.
10. Lindholm, M. Harmonic analysis // In Proc. 5th Int. Conf. Power Electron Drive System., – 2003, – Vol.2, – p.837-841.
11. Muller, S. Double Fed induction generator system for mind turbines/S.Muller, M.Deicke, R.W.D.Doncker//IEEE Industry App. Magazine,– May-June, 2002,–Vol.8,–Iss.3.– p.26-33
12. Peterson, A. Analysis, Modeling and Control of Doubly – Fed Induction Genera tors for wind Turbines // Department of Electric Power Enginerrig Chalmers University of Technology, – 2013. – 134 p.
13. Zhon, Y.P. Operation of grid connected DRIG under unbalanced grid voltage condition / Y.P.Zhon, J.A.Bauer, J.Ferreira, J.Pierik // IEEE Trans Enrgy Convers, – 2009, – Vol.24(10), – p.240-246.
14. Zoka, Y., Sasaki, H., Yorino, N., Kawahara, K., Liu, C.C. An interaction problem of distributed generators installed in a Micro-GRID // in Proc. IEEE Elect. vitality Deregulation, Restructuring. Power Technol., – Apr. 2004, – Vol. 2, – p.795-799.
15. Железко, B.C. Стратегия снижения потерь и повышения качества электроэнергии в электрических сетях // – Москва: Электричества, – 1992, №51. – с. 6-12.
16. Рахманов, Н.Р., Гулиев, Г.Б., Ибрагимов, Ф.Ш. Моделирование процесса выработки мощности ветростанцией при прогнозировании режима покрытия мощности нагрузки в энергосистеме // "Energetikanın müasir elmi-tex. və tətbiqi problemləri" Beynəlxalq elmi konf. materialları,–Sumqayıt:–SDU və AzETvəLAEİ,–27–28 oktyabr 2015,– s. 14-16.
17. Рахманов, Н.Р., Курбацкий, В.Г., Гулиев, Г.Б., Томин, Н.В. Вероятностная оценка режима энергосистемы с разной долей интеграции ветроисточников// Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики:Актуальные проблемы надежности систем, – Сб. науч. статей, –Бишкек:–2017, Вып.68.–с. 397-404.
18. Mustafayev, R.I. The comparative analysis of wind power plants (WPP) using efficiency in absheron peninsula conditions of the republic of Azerbaijan / R.I.Mustafayev, L.H.Hasanova // Journal is registered in the library of the u.s. Congress USA, – San Diego, – June, 2011, – Vol.2, – No.2 (21). – p. 52-66.
19. Mustafayev, R.I. Some subjects of compensation of the induction generators reactive power in wind-power and small hydroelectric power plants / R.I.Mustafayev, L.H.Hasanova, M.M.Musayev // Journal is registered in the library of the u.s. Congress, USA, – San Diego: – December, 2013, – Vol.8, – No.4 (31). – p. 2-13.
20. Рахманов, Н.Р., Курбацкий, В.Г., Гулиев, Г.Б., Томин, Н.В. Применение нечетких регуляторов для управление ветроэнергетическими установками // "Energetikanın müasir elmi-texniki və tətbiqi problemləri" Beynəlxalq elmi konfransının materialları, – Sumqayıt: – SDU və AzETvəLAEİ, – 27–28 oktyabr 2015, – s. 90-94.

Булатов, Ю.Н. Нечеткие регуляторы для ветроэнергетических установок / Ю.Н.Булатов,

А.В.Крюков, З.Х.Чан // Изв. вузов Проблемы энергетики, – 2014, № 7-8. – с. 60-69.



Гулиев Гусейнгулу Байрам оглы – к.т.н., доцент. 1985 году окончил энергетический факультет Азербайджанского нефтехимического института по специальности «Электрические сети и системы». В 2003 года защитил кандидатскую диссертацию по теме «Разработка методов анализа несинусоидальных режимов в узлах промышленной нагрузки». Основные научные направление охватывает областям интеллектуальное управление показателям качества электроэнергии, режимы энергосистем, компенсация реактивной мощности. В настоящем времени является начальник отдела "Режимы и проблемы управление энергосистем" Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-изыскательского института при ООО "Азерэнержи".
Email: huseyngulu@mail.ru

АБСОРБЦИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ НАСОС – КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОГО ОПРЕСНЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ

Д.А.Ахмедова, М.М.Агамалиев, Р.Г.Мамедбекова

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

АННОТАЦИЯ

Дефицит пресной воды делает актуальным опреснение морских вод. Существующие технологии опреснения характеризуются высокими затратами, особенно технология термического опреснения. В статье, на примере воды Каспийского моря, рассматриваются вопросы повышения эффективности процесса термического опреснения путем интегрирования LiBr-ого абсорбционного теплового насоса в систему термического опреснения, а также организации процесса дистилляции в области высоких температур и кратностей упаривания. Возникающую при этом задачу по предотвращению образования накипи $CaSO_4$ предлагается решить предварительным нанофильтрационным умягчением.

Приводятся математическая модель системы и результаты компьютерной симуляции этой модели. Обосновывается возможность снижения тепловых затрат на 60÷70% и удельной поверхности нагрева до 2 раз по сравнению с обычной технологией термического опреснения. Для этого процесс термической дистилляции предлагается осуществлять в области температур кипения 120÷130^{0}C, кратностей упаривания 6÷8. На примере Сангачальской дизельной электростанции показывается, что путем утилизации бросового тепла станции может быть обеспечено получение дешевого дистиллята и защита окружающей среды от теплового загрязнения.

Ключевые слова: термическое опреснение; абсорбционный тепловой насос; интегрирование; нанофильтрационное умягчение; повышение эффективности.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития цивилизации характеризуется нарастающим дефицитом пресной воды, обусловленным экспоненциальным ростом численности населения, ограниченностью пресноводных источников, их истощением, антропогенным загрязнением и прочими причинами [1].

Как показывает мировая практика (Саудовская Аравия, Катар, Израиль и др.) радикальным путем решения данной проблемы является опреснение соленых вод, на долю которых приходится до 75% всех водных запасов планеты. Решение данной проблемы актуально и для ряда регионов прикаспийского и причерноморского побережья: Апшерон (Азербайджан), Крым (Украина), Мангышлак (Казахстан). В 2010 году президентом Азербайджанской республики предложено изучить вопрос о строительстве на Апшероне крупных опреснительных установок по примеру вышеуказанных стран.

Вполне очевидно, что решение проблемы дефицита пресной воды должно носить комплексный характер: наряду с созданием крупномасштабных опреснительных установок, необходимо обратить внимание на вопросы децентрализованного водоснабжения путем создания локальных опреснительных установок небольшой производительности для нужд отдельных, рассредоточенных потребителей – котельных, тепловых электростанций, фермерских хозяйств и др.

Независимо от применяемого метода, опреснение является весьма энергозатратным и капиталоемким процессом. Несмотря на более широкое распространение технологии обратноосмотического опреснения (60÷65%), технология термического опреснения (25÷30%), остается востребованной по причине таких достоинств, как независимость технологических показателей от солесодержания исходной воды, а также наличия в ней примесей органического и биологического характера, возможность получения воды с солесодержанием 5÷10 мг/дм^3, что в несколько раз меньше чем при обратном осмосе[2,3].

Как известно, термическое опреснение предусматривает фазовое превращение воды и поэтому характеризуется высокими тепловыми затратами – от 2200 кДж/кг на одноступенчатых установках до 100÷200 кДж/кг на многоступенчатых [4].

По этой причине в современных исследованиях, направленных на повышение эффективности технологии термического опреснения, наметился ряд прогрессивных трендов, включая использование возобновляемых источников энергии, бросового тепла энергоустановок, интегрирование тепловых насосов в системы термического опреснения и другие [5]. Показано, что за счет использования небольшого количества сторонней энергии тепловые насосы обеспечивают повышение параметров вторичного пара испарителя с последующим использованием его в качестве греющего пара и отводом образующегося дистиллята в качестве опресненной воды. При этом расход первичной энергии снижается более чем в 2 раза, по сравнению с обычным термическим опреснением [6].

Еще один тренд связан со стремлением снизить удельные капитальные затраты путем повышения температуры кипения морской воды и степени извлечения дистиллята (степени упаривания, конверсии) [2]. Такой подход требует решение проблемы сульфатной накипи и в этой связи предлагаются различные методы умягчения морской воды [2,4], синтезируются высокотемпературные антинакипины.

Известны исследования с интегрированием тепловых насосов в систему термического опреснения, которые обеспечивают компрессию вторичного пара одним из четырех методов: механическим, термическим, абсорбционным и адсорбционным [3]. Наименее изучены системы с интегрированными сорбционными тепловыми насосами. Между тем они характеризуются такими достоинствами, как возможность использования в качестве первичной энергии любого источника тепла с достаточной температурой: отработанный пар, выхлопные газы энергоустановок, солнечную энергию. Они практически бесшумны и не содержат движущихся частей. Согласно исследованиям [3] по такому энергетическому показателю, как коэффициент выхода, характеризующему количество дистиллята на каждый кг движущего пара сорбционная компрессия предпочтительней других методов.

На примере океанской воды показано, что при температуре кипения в одноступенчатом испарителе – 75^{0}С и кратности упаривания – 1,8 с использованием абсорбционного теплового насоса (АБТН) для компрессии вторичного пара, коэффициент выхода дистиллята повышается до 3-х [3]. Дальнейшее повышение энергетических показателей связывается с необходимостью повышения температуры кипения и кратности упаривания.

В работе [6] приведены результаты сравнительных исследований АБТН с использованием водных растворов: NH_3, LiCl и LiBr. Показаны преимущества сорбента LiBr и предложена технологии опреснения, в котором температура бросового тепла текстильной фабрики повышается посредством АБТН и используется для опреснения воды Средиземного моря. Авторами [7] обосновывается термодинамическая эффективность интегрирования АБТН в схему многоступенчатого опреснения воды Средиземного моря с использованием солнечной энергии.

Важно отметить, что независимо от метода компрессии пара все известные исследования выполнены для области низких температур: 60÷90 ^{0}C и кратностей упаривания менее 2-х. При этом указанные ограничения обусловлены желанием избежать или минимизировать процесс образования накипи сульфата кальция.

Применительно к воде Каспийского моря возможности абсорбционного опреснения не изучались. Между тем, наличие в регионе значительного количества бросового тепла дизельных энергетических установок в виде отработанных газов и охлаждающих вод, а также высокий уровень солнечной радиации делают актуальным разработку технологии абсорбционного опреснения каспийской воды с целью проектирования соответствующих установок для децентрализованного водоснабжения приморских предприятий. При этом для одноступенчатых опреснительных установок, с учетом компактности, в качестве метода умягчения представляет интерес нанофильтрация, обеспечивающая 95÷98%-ое снижение концентраций двухвалентных ионов, что создает предпосылки для решения проблемы сульфатной накипи и организации процесса в области высоких значений температуры кипения и кратностей упаривания.

Целью настоящих исследований является изучение основных количественных закономерностей технологии высокотемпературного одноступенчатого термического опреснения воды Каспийского моря при интегрировании в систему абсорбционного теплового насоса и решении сульфатной проблемы нанофильтрационным умягчением.

Технологические схемы и методика проведения исследований

Технологическая схема исследуемой системы (рис.1) включает насос исходной воды (1), модуль нанофильтрационного умягчения (2), охладитель дистиллята и остаточного раствора (3), конденсатор (4), абсорбер (5), промежуточный теплообменник (6), насос водного раствора LiBr (7), генератор (8) и горизонтально-пленочный испаритель (9).

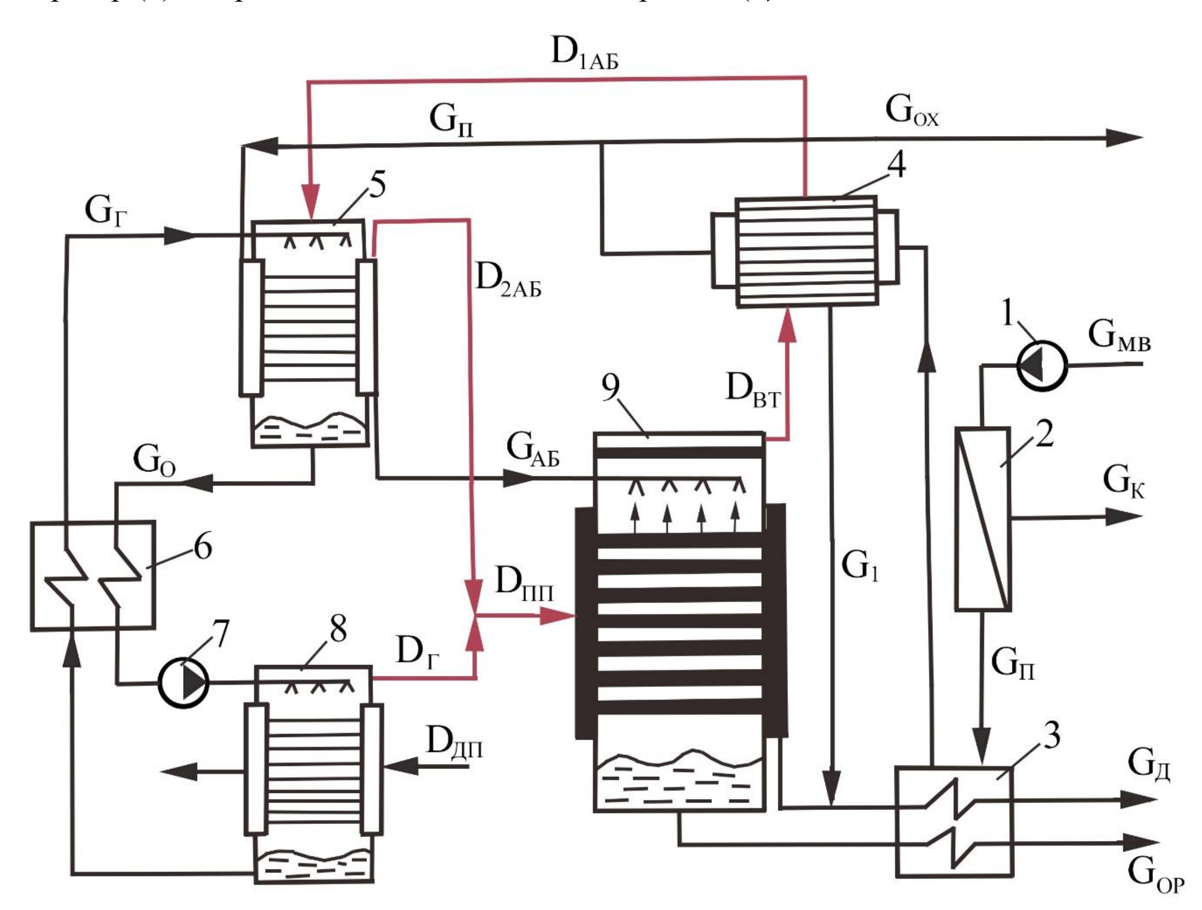


Рис.1. Технологическая схема системы одноступенчатого термического опреснения с абсорбционным тепловым насосом и модулем нанофильтрации

Функционирование предлагаемой технологической схемы основано на реализации совокупности следующих процессов:

- подача насосом (1) морской воды с расходом – $G_{МВ}$ и температурой – $T_{МВ}$ на модуль нанофильтрационного умягчения с получением умягченного пермеата – $G_{П}$ и сбросного концентрата – $G_{К}$;
- охлаждение пермеатом отводимых из системы дистиллята и остаточного раствора;
- нагрев пермеата с конденсацией части вторичного пара испарителя и разделением на два потока, один из которых – $G_{ПВ}$, используется для питания абсорбера, а другой – G_{OX}, для отвода тепла из системы. При этом дистиллят сконденсированной части вторичного пара отводится в виде части целевого продукта – G_1;
- абсорбция несконденсировавщейся части вторичного пара испарителя – $D_{1АБ}$, концентрированным раствором LiBr, поступающим в абсорбер из генератора (десорбера) – $G_{Г}$;
- выделение тепла при абсорбции пара раствором LiBr из-за экзотермического характера этого процесса, сопровождающееся разбавлением раствора, кипением питательной воды с получением пара – $D_{2АБ}$, используемого в качестве части первичного пара испарителя и термодинамически равновесного с ним раствора, используемого для питания испарителя – $G_{АБ}$;
- теплообмен между разбавленным и концентрированным растворами LiBr;
- термическое концентрирование разбавленного раствора LiBr в генераторе за счет движущего (стороннего) источника тепла (пара) – $D_{ДП}$, с выработкой такого же количества водяного пара, которое было абсорбировано ранее: $D_{Г} = D_{1АБ}$. Использование этого пара в качестве остальной части первичного пара испарителя – $D_{ПП}$;
- термическая дистилляция остаточного раствора абсорбера в испарителе с получением вторичного пара – $D_{ВП}$;
- смешивание дистиллятов первичного и части вторичного паров испарителя с получением искомого продукта – $G_{Д}$.

Методикой проведения исследований предусматривалась разработка математической модели данной системы с последующей компьютерной симуляцией для изучения влияния комплекса входных определяющих факторов на совокупность выходных технологических и энергетических показателей системы, которые в целом характеризуют эффективность процесса опреснения. При этом за базу была принята модель, предложенная в работе [3] для системы абсорбционного опреснения. Она была дополнена моделями стадии нанофильтрационного умягчения и образования накипи $CaSO_4$ в условиях высокой кратности упаривания и температуры кипения, а также выведенными на основании табличных данных [3] корреляционными зависимостями энтальпии и температуры раствора LiBr от концентрации и температур паров воды над кипящим раствором.

Для моделирования стадии нанофильтрации использовалась компьютерная программа «ROSA» (Reverse Osmosis System Analysis) [8]. На основании предварительных исследований мембран, предусмотренных для нанофильтрации была принята мембрана NF-90, характеризующаяся более высокой селективностью как по двухвалентным, так и одновалентным ионам.

Модель стадии абсорбционного опреснения включает уравнения материальных и тепловых балансов основных элементов – испарителя, охладителя, конденсатора, абсорбера, генератора (десорбера), уравнение теплопередачи, произведения растворимости $CaSO_4$, произведения активных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-}, а также систему корреляционных зависимостей для определения энтальпии, температурной депрессии и другие.

Основные элементы математической модели (ММ) приводятся ниже.

Для технологической схемы в целом могут быть написаны следующие уравнения материальных балансов по потокам и солям

$G_{МВ} = G_К + G_{ОХ} + G_{ОР} + G_Д$ (1) $G_{МВ} \cdot S_{МВ} = G_К \cdot S_К + G_{ОХ} \cdot S_{ОХ} + G_{ОР} \cdot S_{ОР}$, (2)

где $S_{МВ}$, $S_К$, $S_{ОХ}$ и $S_{ОР}$ – содержание солей в соответствующих потоках, мг/дм^3.

ММ стадии нанофильтрационного умягчения:

$$G_{МВ} = G_П + G_К \quad (3)$$

$$G_{МВ} \cdot S_{i,МВ} = G_П \cdot S_{i,П} + G_К \cdot S_{i,К}\ , \quad (4)$$

где $S_{i,МВ}$, $S_{i,П}$ и $S_{i,К}$ – концентрации отдельных ионов в морской воде, пермеате и концентрате, мг/дм^3.

В расчетной программе «ROSA» используется такой показатель, как коэффициент выхода пермеата относительно исходной воды (конверсия) – β:

$$\beta = G_П / G_{МВ} \quad (5)$$

Программа позволяет для известной величины $G_П$ и варьируемых в пределах 0,5÷0,8 значениях β, с учетом концентрационной поляризации, корректно рассчитывать концентрации каждого иона, а также их суммы в пермеате и концентрате.

Уравнения материального и теплового баланса для конденсатора:

$D_{ВП} = D_{1АБ} + G_1$ (6) $G_П = G_{ПВ} + G_{ОХ}$ (7)

$$(D_{ВП} - D_{1АБ}) \cdot r_{ВП} = G_П \cdot C_P \cdot (T_{ПВ} - T_П) \quad (8)$$

где $r_{ВП}$ – скрытая теплота парообразования при температуре насыщения вторичного пара испарителя, кДж/кг; $T_П$ и $T_{ПВ}$ – температуры пермеата на входе и выходе конденсатора, соответственно, ^{0}С; C_P - удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·^{0}С).

Зависимость r_i=f(T_i) может быть выражена в виде уравнения регрессии [3]:

$$r_i = 2499{,}5698 - 2{,}204864 \cdot T_i - 2{,}304 \cdot 10^{-3} \cdot T_i^2 \quad (9)$$

где T_i – температура насыщения, ^{0}С: T_i=$T_{ВП}$.

Для абсорбера можно написать:

$D_{1АБ} + G_Г = G_0$ (10) $G_{АБ} + D_{2АБ} = G_{ПВ}$ (11) $G_{ПВ} \cdot S_{ПВ} = G_{АБ} \cdot S_{АБ}$ (12)

$$D_{1АБ} \cdot h_{1АБ} + G_{ПВ} \cdot h_{ПВ} + G_Г \cdot h_{к.LiBr} = D_{2АБ} \cdot h_{2АБ} + G_{АБ} \cdot h_{АБ} + G_0 \cdot h_{р.LiBr} \quad (13)$$

где $G_Г$ и G_0 – расходы концентрированного и разбавленного растворов абсорбента, соответственно, кг/с; $D_{2АБ}$ и $G_{АБ}$ - расходы пара и остаточного раствора абсорбера (питательной воды испарителя), соответственно, кг/с; $S_{АБ}$ и $S_{ПВ}$- содержание солей в соответствующих потоках, мг/дм^3; $h_{ПВ}$, $h_{АБ}$, $h_{1АБ}$, $h_{2АБ}$, $h_{к.LiBr}$ и $h_{р.LiBr}$ – энтальпии питательной воды абсорбера, испарителя, пара на входе и выходе абсорбера, а также концентрированного и разбавленного растворов LiBr, соответственно, кДж/кг.

Энтальпии воды в паровой и жидкой фазах определяются по формулам, кДж/кг:

$h'_i = r_i + C_p T_i$ (14) $h_i = C_p T_i$ (15)

А для расчета энтальпии растворов LiBr в зависимости от температуры и концентрации вещества путем математической обработки табличных данных [3] были получены следующие формулы:

$$h_{LiBr} = b_0 + b_1 T \quad (16)$$

где b_0 и b_1 – эмпирические коэффициенты, зависящие от концентрации раствора LiBr:

$$b_0 = -1819{,}6 \cdot S_{LiBr}^2 + 2150{,}6 \cdot S_{LiBr} - 631{,}37 \quad (17)$$

$$b_1 = 65{,}857 \cdot S_{LiBr}^2 - 31{,}595 \cdot S_{LiBr} + 20{,}26 \quad (18)$$

Полученная формула справедлива для диапазона изменения температур 40÷140^{0}С, концентрации раствора LiBr 0,3÷0,7 (в массовых долях).

Уравнения материального и теплового балансов испарителя:

$G_{АБ} = D_{ВП} + G_{ОР}$ (19) $D_{ПП} \cdot r_{ПП} = D_{ВП} \cdot r_{ВП}$ (20)

где $r_{ПП}$ – скрытая теплота парообразования при температуре первичного пара, рассчитываемая по уравнению (9) при $T_i=T_{ПП}$.

В свою очередь температура первичного пара связана с температурой вторичного пара соотношением:

$$T_{ПП}=T_{ВП}+\Delta T \quad (21)$$

где ΔT – температурный напор, задаваемый в расчетах.

Температура вторичного пара связана с температурой кипения – $T_К$ через температурную депрессию ($\Delta T_Д$), которая сама является функцией солесодержания остаточного раствора и температуры кипения и может быть определена на основании [3]:

$$T_{ВП}=T_К-\Delta T_Д \quad (22)$$

Как отмечалось выше, первичный пар испарителя формируется из пара, полученного в абсорбере, а также в генераторе при термическом концентрировании разбавленного раствора LiBr, причем расход водяного пара, поучаемого в генераторе равен расходу пара абсорбированного ранее – $D_{2АБ}$. Исходя из этого для генератора можно написать:

$$D_{ПП} = D_{1АБ} + D_{2АБ} \quad (23)$$

$$G_0 = G_Г + D_{1АБ} \quad (24)$$

$$G_0 \cdot h_{р.LiBr} + D_{ДП} \cdot r_{дп} = G_Г \cdot h_{к.LiBr} \quad (25)$$

где $D_{ДП}$ – расход движущего (греющего) пара генератора, кг/с; $r_{дп}$ – скрытая теплота парообразования движущего пара, кДж/кг. Может быть рассчитана по формуле (9), с учетом того, что:

$$T_{ДП} = T_{к.LiBr} + (3 \div 5^0С) \quad (26)$$

Температура концентрирования раствора LiBr является функцией концентрации LiBr и температура насыщения водяного пара над раствором – $T_{ПП}$. Приводимые в [3] табличные зависимости $T_{к.LiBr}=f(S_{LiBr},T_{ПП})$ могут быть аппроксимированы уравнением регрессии:

$$T_{к.LiBr}=a_0+a_1 \cdot T_{ПП} \quad (27)$$

$$a_0 = -1819{,}6 \cdot S_{LiBr}^2 + 2150{,}6 \cdot S_{LiBr} - 631{,}37 \quad (28)$$

$$a_1 = 65{,}857 \cdot S_{LiBr}^2 - 31{,}595 \cdot S_{LiBr} + 20{,}26 \quad (29)$$

Расчет поверхностей нагрева испарителя и конденсатора выполняется на основании уравнения теплопередачи, м^2:

$$F_i = Q_i / K_i \cdot \Delta T_i \quad (30)$$

где Q_i – тепловые нагрузки, кВт; ΔT_i – температурные напоры, ^{0}С. Для испарителя $\Delta T_{ИС}=T_{ПП}-T_К$. Для конденсатора $\Delta T_{КОН}$ – рассчитывался как логарифмическая разность температур двух сред по известным формулам. Коэффициенты теплопередачи для испарителя рассчитывались по формулам, предлагаемым в [3], кВт/(м^2 ·^{0}С):

$$К_{ис}=0{,}83(3+0{,}05(T_{кип}-60)) \quad (31)$$

Для конденсатора использовано выражение:

$$К_{КОН} = 1{,}6175 + 0{,}1537 \cdot 10^{-3} \cdot T_{ВП} + 0{,}1825 \cdot 10^{-3} \cdot T_{ВП}^2 - 8{,}026 \cdot 10^{-8} \cdot T_{ВП}^3 \quad (32)$$

Влияние таких факторов, как кратность упаривания умягченной воды (m) и температура ее кипения в испарителе на процесс образования накипи $CaSO_4$ может быть оценено по величине степени насыщения раствора (К,%), рассчитываемой по формуле:

$$К = \frac{\lambda_{Ca} S_{Ca.п} \lambda_{SO_4} S_{SO_4.п} m^2 f_{,,}^2 10^5}{215{,}13 \exp(-0{,}034 T_К)} \qquad (33)$$

где $\lambda_{Ca^{2+}}$ и $\lambda_{SO_4^{2-}}$ – коэффициенты, учитывающие наличие в воде ассоциатов, не участвующих в накипеобразовании. Согласно [9] $\lambda_{Ca^{2+}} = 0{,}84$ и $\lambda_{SO_4^{2-}} = 0{,}77$; $f_{,,}$ – коэффициент активности двухвалентных ионов, рассчитываемой по формуле Девиса; $S_{Ca,п}$ и $S_{SO_4.п}$ – концентрации соответствующих ионов в пермеате стадии нанофильтрационного умягчения, моль/дм^3, рассчитываемой по программе «ROSA».

Выше было отмечено, что одним из достоинств абсорбционных тепловых насосов является возможность использования в качестве движущей энергии, как водяного пара, так и продуктов сгорания топлива энергетических установках. В этой связи большой интерес представляет использование продуктов сгорания приморских дизельных ЭС модульного типа (Сангачальский и Бакинский). Как известно на Сангачальской ДЭС установлено 18 модулей и продукты сгорания 12-ти модулей с температурой 450÷500^{o}С выбрасываются в атмосферу с соответствующим негативным экологическим эффектом. Согласно расчетам авторов, приведенных в [10] для целей опреснения может быть утилизировано более 4 МВт тепловой энергии. Тогда количество дистиллята, получаемое за счет утилизации этого тепла составит, кг/с:

$$G_{УТ} = Q_{УТ} \cdot 10^3 / (D_{ДП} \cdot r_{дп}) \qquad (34)$$

При исследовании приведенной модели, в соответствии с методикой [3], расход опресненной воды – $G_Д$ был принят равным 1 кг/с, с возможностью пересчета на произвольную производительность. Состав воды Каспийского моря был принят характерным для региона «Şimal-ES» (мг/дм^3): S_{Ca} =320; S_{Mg}= 728; S_{Na}=3177; S_{Cl}=5034: S_{SO4}=3264; S_{HCO3}=244; pH=8,2.

Исследования модели были приведены для следующих условий:

- температура питательной воды после конденсатора на 5^{0}С меньше температуры конденсации вторичного пара;
- температура разбавленного раствора LiBr на 5^{0}С больше температуры кипения питательной воды в абсорбере;
- температура первичного пара испарителя: 60÷140^{0}С с шагом 10^{0}С;
- температурный напор испарителя: 2÷10^{0}С с шагом 2^{0}С;
- степень концентрирования раствора в испарителе относительно умягченной воды: 2÷10 с шагом 2;
- концентрация LiBr в концентрированном растворе: 50÷70% с шагом 10%.

В качестве основных выходных показателей были приняты:

- степень насыщения упариваемого раствора по сульфату кальция, K_{CaSO_4},%;

-удельный выход дистиллята относительно используемого движущего пара, кг/кг:

$$d_Д = G_Д / D_{ДП} \qquad (35)$$

-степень конверсии, характеризующий выход дистиллята относительно питательной воды испарителя, %:

$$K_К = 100 \cdot G_Д / G_{ПВ} \qquad (36)$$

- удельный расход энергии движущего пара, кДж/кг:

$$g = D_{ДП} \cdot r_{ДП} / G_Д \qquad (37)$$

- удельная поверхность теплообмена, м^2/(кг/с):

$$f = (F_{ИС} + F_{КОН})/G_Д \qquad (38)$$

- удельные расходы питательной, умягченной, исходной, и охлаждающей воды как частные от деления соответствующих расходов на $G_Д$, кг/кг;
- тепловые выбросы с охлаждающей водой, $Q_{ОХ}$, кВт;
- количество дистиллята, получаемое за счет утилизации бросового тепла модульной станции - $G_{Д.ут}$ и другие показатели.

Обсуждение результатов исследований

Один из рабочих листов программы ROSA приведен на рис 2. Эта программа весьма информативная, поскольку позволяет получать сведения по широкому классу технологических показателей: расходам потоков, величине конверсии, осмотическому давлению, схеме включения мембранных модулей, числу и вариантам размещению мембран по модулям и прочим показателям.

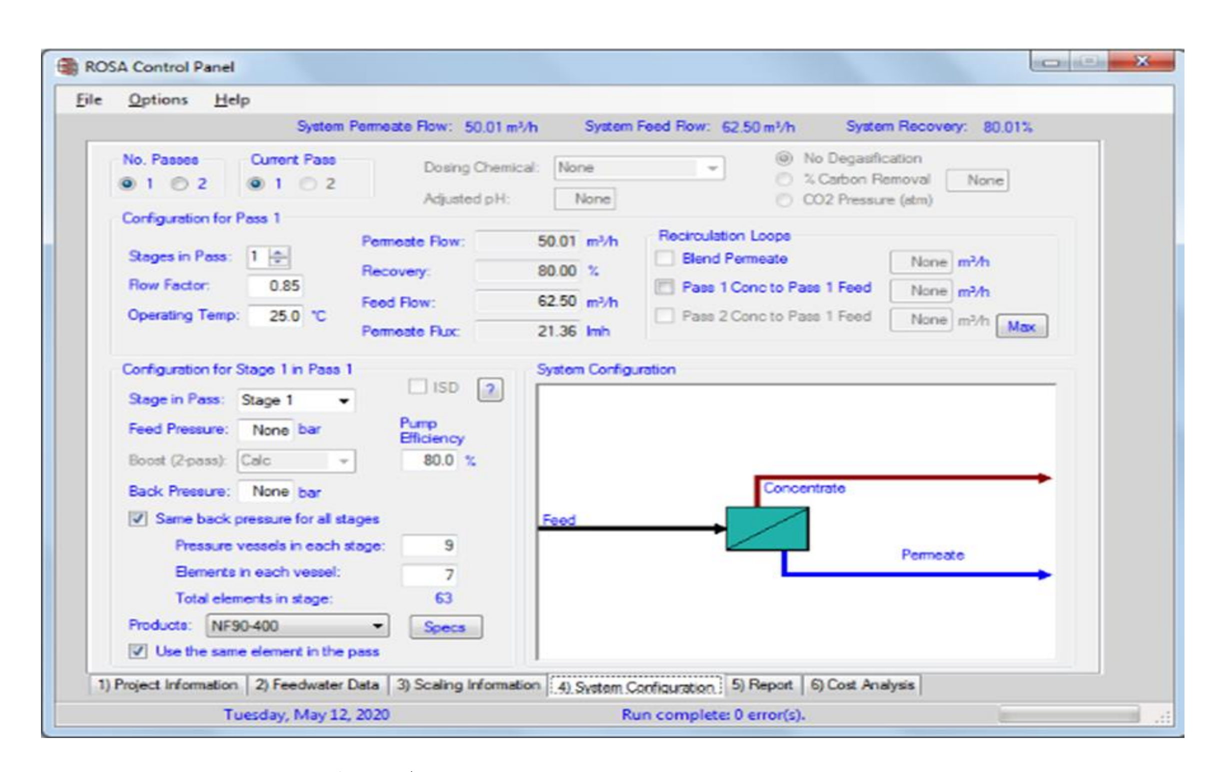
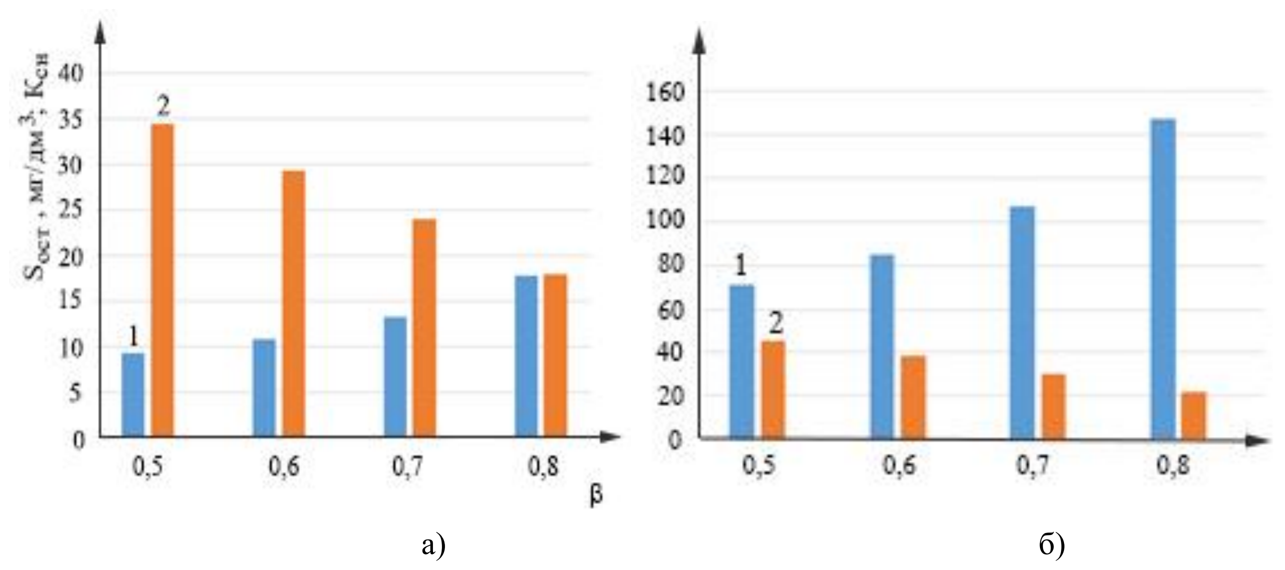


Рис.2. Рабочий лист компьютерной программы ROSA

Расчеты по программе ROSA показали, что нанофильтрационная мембрана NF-90-400 обеспечивает возможность достаточно глубокого умягчения морской воды (рис.3): содержание ионов кальция снижается от 320 мг/дм^3 в исходной воде до 9÷18 мг/дм^3. Одновременно достигается, в среднем 30-кратное снижение концентрации сульфат-ионов. Поэтому в области высоких значений температуры кипения и кратности упаривания раствора надежно решается проблема сульфатного накипеобразования. Об этом говорит тот факт, что степень насыщения упариваемого раствора по сульфату кальция в указанной области не достигает 100% (рис.4). Важно отметить, что высокие значения кратности упаривания (m) являются показателем достижения высоких значений степени конверсии питательной воды испарителя в опресненную воду – до 90% и более (рис.5).



а) б)

Рис. 3. Влияние величины конверсии стадии НФ на остаточную концентрацию и кратность снижения концентрации Ca^{2+} (а) и SO_4^{2-}(б): 1- $S_{ост}$, 2- $К_{сн}$.

Одним из достоинств нанофильтрационной предочистки возможность снижения, наряду с жесткостью, в значительной степени и солесодержание морской воды – до 1,8÷2,9 г/дм^3. Поэтому даже при высоких значениях кратности упаривания солесодержание концентрата не превышает 30 г/дм^3, что выгодно в плане достижения низких значений температурной депрессии (рис.5).

Согласно результатам исследования, возможность повышения температуры кипения и кратности упаривания в условиях отсутствия опасности накипеобразования способствует улучшению энергетической эффективности процесса: повышению выхода дистиллята от 3-3,2 до 3,4-3,6 кг/кг движущего пара и соответствующему снижению удельному расходу тепловой энергии, в среднем от 700 до 510 кДж/кг полученного дистиллята (рис.6). Обе зависимости подчиняются линейному закону, причем температурный напор оказывает слабое влияние на эти показатели. Снижение удельного расхода тепловой энергии объясняется уменьшением скрытой теплоты парообразования с повышением температуры пара.

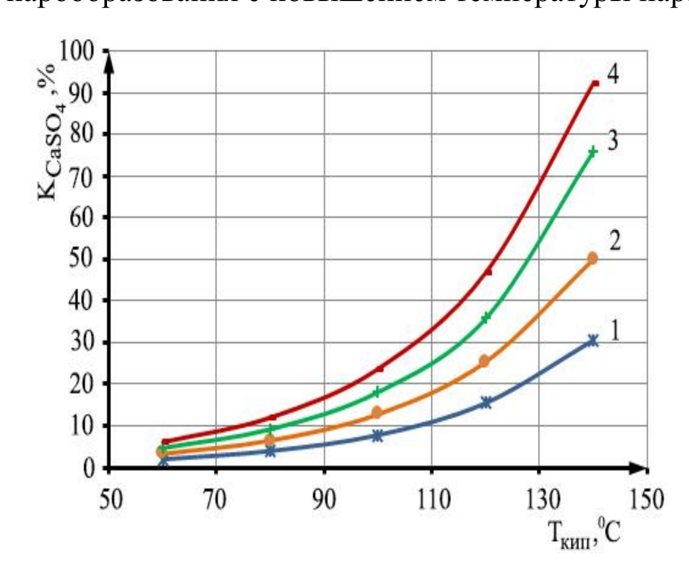


Рис.4. Зависимость степени насыщения раствора от температуры кипения при кратности упаривания m=4(1); 6(2); 8(3); 10(4) и β=0,8

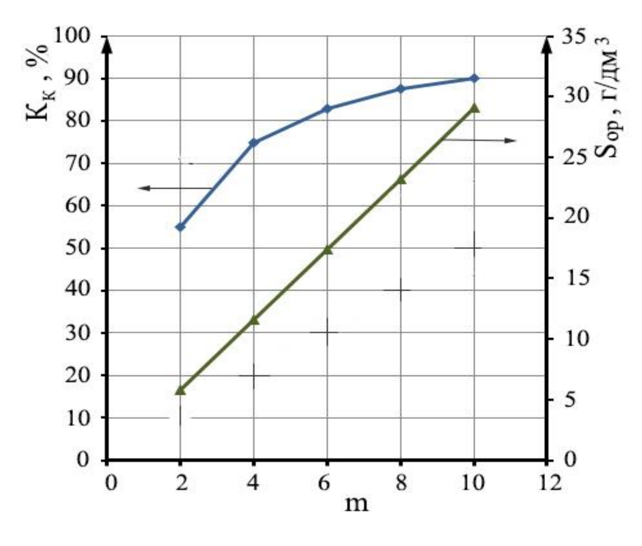


Рис.5. Зависимость степени конверсии и солесодержания остаточного раствора от кратности упаривания.

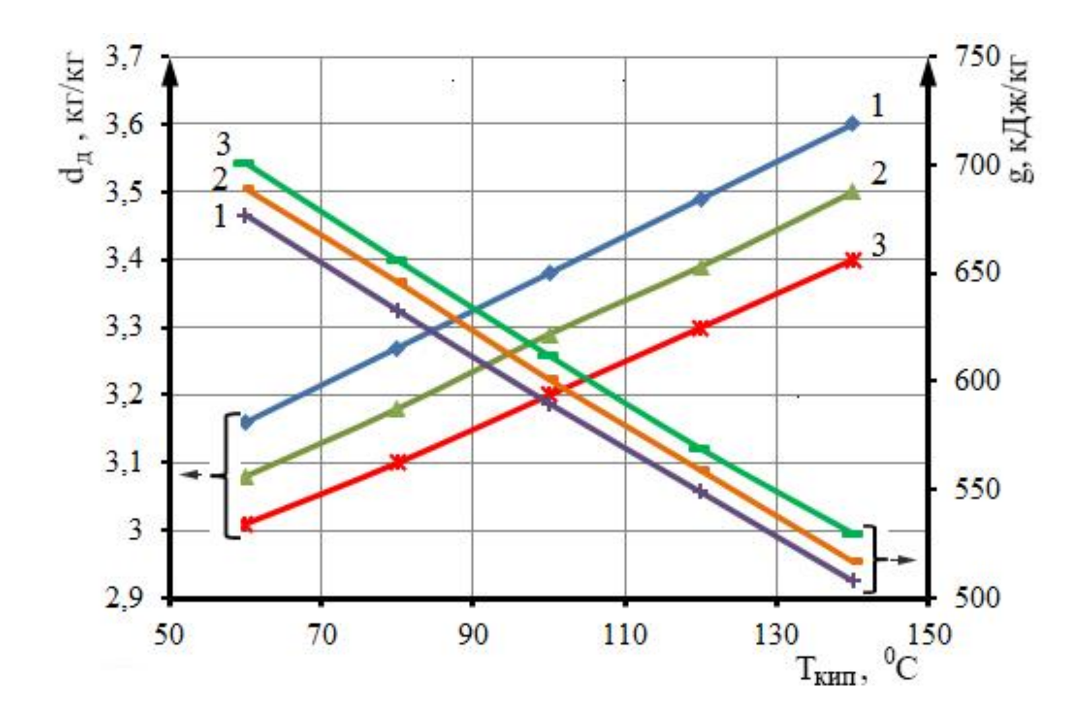


Рис.6. Зависимость выхода дистиллята и удельного расхода тепла от температуры кипения и температурного напора: β=0,8; m=8. 1(ΔT=2^{0}C); 2(6^{0}C); 3(10^{0}C).

Повышение концентрации LiBr также способствует снижению удельного расхода тепла, практически независимо от от температуры кипения (таблица1) - во всем диапазоне температур наблюдается 10-12%-ное снижение удельного расхода тепла, что хорошо согласуется с данными [3] и объясняется положительной зависимостью энтальпии раствора бромистого лития от его концентрации, как это следует из формулы (16). Из этой же таблицы следует, что повышение кратности упаривания также способствует снижению тепловых затрат, но это влияние менее выражено и не превышает 5%-ов. Причем заметное снижение имеет место лишь в области значений m<6. Объясняется такая зависимость тем, что с повышением m по обратно пропорциональному закону уменьшается расход остаточного раствора, продуваемого из испарителя, соответственно – количество тепла отводимого из системы.

Таблица 1

Влияние концентрации раствора LiBr и кратности упаривания воды на удельный расход энергии (кДж/кг) при разных температурах кипения (ΔT=5^{0}C)

Температура кипения, ^{0}C	S_{LiBr}, при m = 6		
	0,5	0,6	0,7
	m, при S_{LiBr}=0,7		
	2	6	10
60	747/775	721/747	688/745
80	704/731	677/704	643/703
100	663/688	635/663	599/661
120	622/646	594/622	557/621
140	582/605	552/582	516/581

Примечание: числитель – g=f(S_{LiBr}), знаменатель g=f(m).

Выше было показано, что в обычных одноступенчатых системах опреснения (без теплового насоса) удельный расход тепла при температуре кипения 100^0С составляет около 2200 кДж/кг. Таким образом, в рассматриваемом случае основная часть тепла (60÷70%) вырабатывается посредством АБТН. При этом, чем выше температура кипения, тем ниже энергетические затраты. Поэтому целесообразно организовать процесс термической дистилляции в области температур $120÷130^0$С. Что касается величины кратности упаривания, то ее можно принять 6÷8.

Температура кипения оказывает существенное влияние на величину теплообменной поверхности. С повышением температуры от 60^0С до 140^0С суммарная поверхность нагрева испарителя и конденсатора снижается почти в 3 раза (рис. 9). При этом до 80%-ов теплообменной поверхности приходится на долю испарителя (рис.10). Причем, это влияние заметно ослабевает в области $Т_К>120^0$С. Такая закономерность объясняется повышением коэффициента теплопередачи с увеличением температуры кипения. Согласно результатам расчетов в исследуемом температурном диапазоне, из-за интенсификации процессов, коэффициент теплопередачи увеличивается от 2,2 до 5,5 кВт/($м^2\cdot{}^0С$).

Таким образом, высокотемпературное опреснение выгодно не только с точки зрения снижения энергетических, но и капитальных затрат. Для более строгого определения наиболее выгодных значений температуры кипения и кратности упаривания необходимы оптимизационные расчеты по такому критерию, как себестоимость дистиллята.

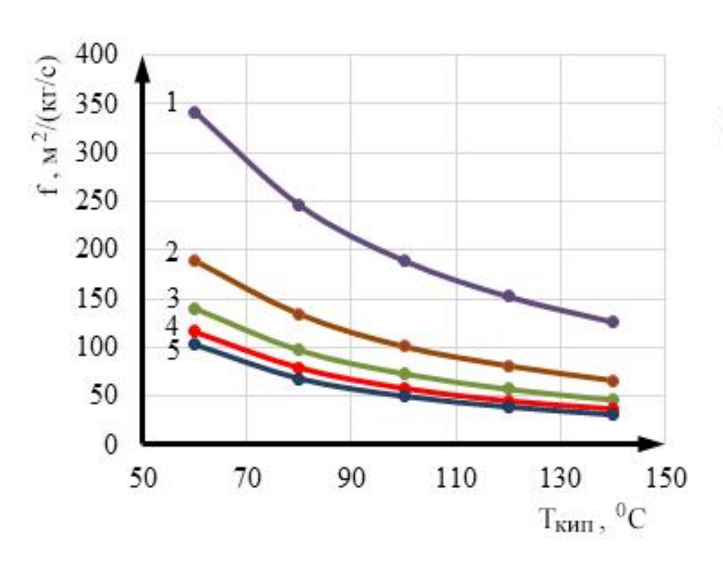


Рис.9. Зависимость удельной поверхности нагрева от температуры кипения при температурных напорах 2^0С(1); 4^0С(2); 6^0С(3); 8^0С(4); 10^0С(5); m=8.

Рис.10.Соотношения между удельными поверхностями нагрева испарителя (1) и конденсатора (2), m=8, ΔТ=6 ^{0}С
1 - $f_{исп}$; 2 - $f_{кон}$

Одним из важных показателей процесса опреснения является удельный расход опресняемой. Как следует из соответствующих графиков (рис.11) удельный расход каждого из потоков (морской воды, пермеата и охлаждающей воды) снижается более чем в три раза с повышением температуры кипения, соответственно снижаются энергетические затраты на прокачку воды. Это также делает более выгодной работу в области высоких температур.

Выше в качестве основных достоинств абсорбционных насосов, интегрированных в систему термического опреснения была отмечена возможность использования в качестве движущей энергии

для концентрирования раствора LiBr в генераторе как водяного пара из котельных или отборов турбин, так и продуктов сгорания топлива в различных энергетических установках.

В этой связи часть исследований была выполнена исходя из возможности утилизации бросового тепла одного из модулей Сангачальской дизельной электростанции (СДЭС) в виде продуктов сгорания с температурой 500^0C в количестве 4 МВт. Как показали расчеты, посредством утилизации этого тепла может быть обеспечена выработка опресненной воды от 5,5 до 7,8 кг/с с нулевой тепловой составляющей себестоимости. При этом определенное влияние на количество получаемого дистиллята оказывает температура кипения воды в испарителе и достаточно слабое влияние температурный напор, а также кратность упаривания: с увеличением температуры кипения выработка дистиллята повышается на 30÷35%.

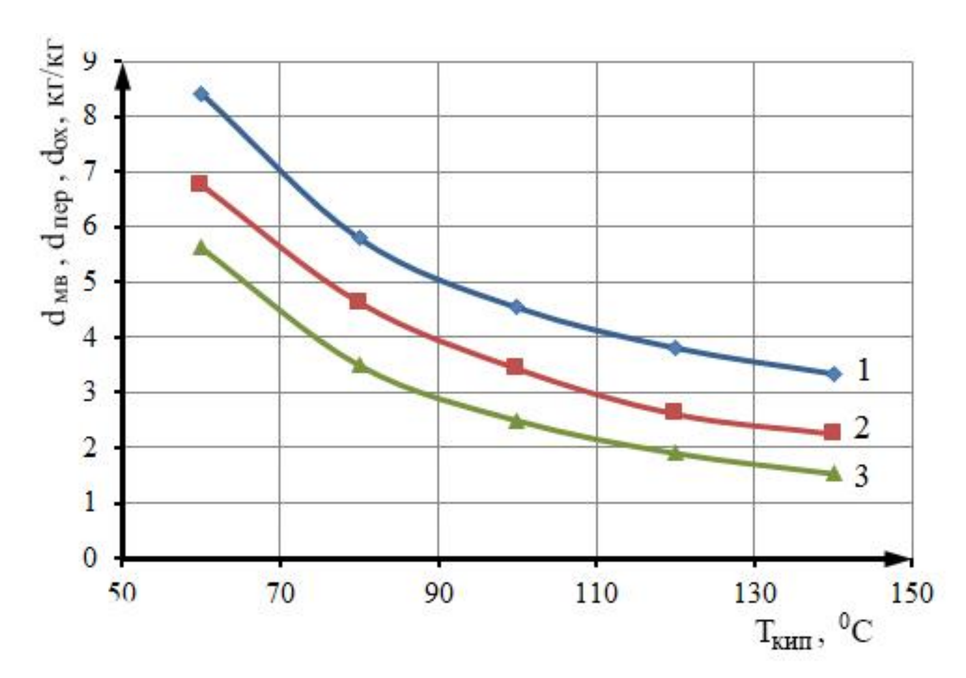


Рис.11. Зависимость удельного расхода морской воды, пермеата и охлаждающей воды от температуры кипения: m=8, $\Delta T=5^0C$; 1 – $d_{мв}$, 2 – $d_{пер}$, 3 - $d_{ох}$

В настоящее время может быть утилизировано бросовое тепло 12-ти модулей СДЭС, и за счет этого, в среднем, произведено до 7 тыс.т/сут дешевой опресненной воды, которой будет достаточно для обеспечения водой крупного населенного пункта с населением более 30 тыс. человек при современной суточной норме 200 литров на человека.

Следует отметить, что в типовых проектах модульных электростанций предусмотрена утилизация тепла, но, как правило, для целей теплоснабжения. Выброс столь большого количества тепла на эксплуатируемых в республике модульных электростанций обусловлен отсутствием тепловой нагрузки. Вполне очевидно, что с учетом региональных особенностей, новое поколение модульных электростанций может быть изначально запроектировано из расчета использования тепла продуктов сгорания для целей опреснения, в том числе при интегрировании с АБТН.

Анализ исследуемой технологической схемы показывает, что из системы с охлаждающей водой отводится значительное количество тепла ($Q_{ОХ}$): от 890 до 1280 кВт и большой интерес представляет ее утилизация. Согласно результатам расчетов кратность упаривания практически не влияет на $Q_{ОХ}$, а с увеличением температуры кипения величина этого показателя, а также расход охлаждающей воды ($G_{ОХ}$) - снижаются (см. таблицу 2). Имеет место также повышение температуры воды на входе ($t_{ВХ}$) и выходе ($t_{ВЫХ}$) конденсатора, а также снижение количества тепла, подведенного с движущим паром. Такое влияние температуры кипения на $Q_{ОХ}$ и $Q_{ДП}$ объясняется с тем, что с повышением температуры кипения уменьшается скрытая теплота парообразования вторичного пара [11], а также энтальпия концентрированного в генераторе раствора LiBr (см. формулу 16).

Таблица 2

Фрагмент вычислительного эксперимента

$T_{кип}$, ^{0}C	$t_{вх}$, ^{0}C	$t_{вых}$, ^{0}C	$G_{ОХ}$, кг/с	$Q_{ОХ}$,кВт	$Q_{ДП}$,кВт
60	26	55	5,59	1290	865
80	35	75	3,49	1090	642
100	45	95	2,49	990	598
120	57	115	1,91	915	556
140	73	135	1,53	865	515

Для утилизации тепла охлаждающей воды предлагается установка модуля мембранной дистилляции на этой линии. Сущность опреснения методом мембранной дистилляции заключается в том, что горячий водный раствор контактирует с одной стороны с гидрофобной микропористой мембраной, через поры происходит испарение паров воды с последующей конденсацией на противоположной стороне посредством охлажденного пермеата или другим способом [12]. Движущейся силой процесса является разность давлений по обе стороны мембраны, обусловленная разностью температур. К основным достоинствам метода относятся: осуществление процесса при обычном давлении и температурах (55÷95^{0}C), высокая степень очистки опресненной воды (пермеата). Основной недостаток, по сравнению с другими мембранными технологиями - высокие энергетические затраты (до 40 кВт·ч/м^3). Поэтому она рентабельна при использовании возобновляемых источников энергии или бросового тепла, например, с охлаждающей водой, как предлагается в рассматриваемом случае.

Исследование эффективности гибридной системы опреснения морской воды на основе метода мембранной дистилляции и термической дистилляции с интегрированием АБТН является предметом будущих исследований авторов. Вместе с тем, по результатам предварительных расчетов можно констатировать, что из отводимой охлаждающей воды конденсатора даже при величине конверсии 10% может быть получено до 0,2 кг/с дополнительного количества дистиллята, т.е. производительность установки –повышена на 20% , с соответствующим снижением удельного расхода тепла.

Один из вариантов схемы подключения модуля мембранной дистилляции с пермеатным контактным слоем приведен на рис.12.

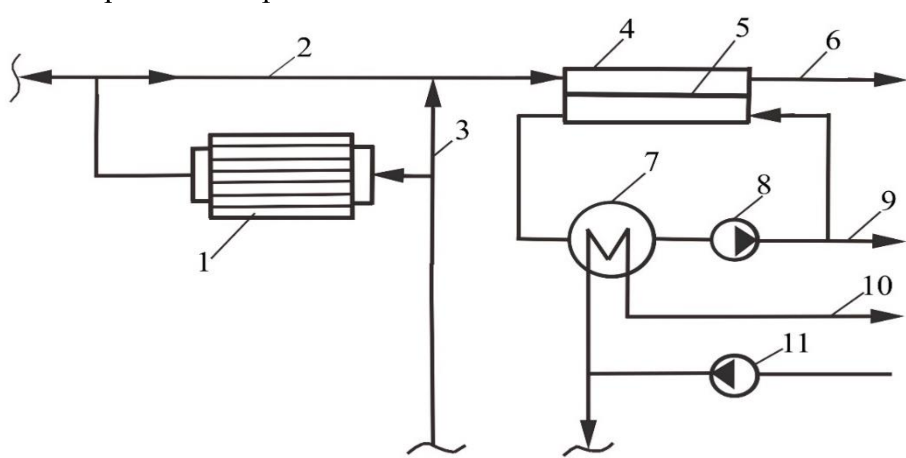


Рис.10. Схема подключения модуля мембранной дистилляции к линии охлаждающей воды

1 – конденсатор; 2 – линия охлаждающей воды; 3 – линия смешивания; 4 – модуль мембранной дистилляции; 5 – мембрана; 6 – охлажденная вода; 7 – теплообменник; 8 – циркуляционный насос; 9 – дистиллят (пермеат); 10 – сброс охлаждающей воды; 11 – насос осветленной морской воды.

Согласно этой схемы охлаждающая воды (2) после конденсатора смешивается с частью пермеата (3) для обеспечения рабочей температуры ≤95^{o}C и к ней подключается модуль мембранной дистилляции (4). В результате испарения части воды через мембрану происходит снижение температуры воды до 30÷35^{o}C и некоторое повышения его солесодержания. Прошедшие через мембрану молекулы воды конденсируются охлажденным в теплообменнике (7) пермеатом. Часть пермеата (9) отводится в качестве целевого продукта, остальная часть рециркулируется в модуль мембранной дистилляции.

ВЫВОДЫ

1. Технология одноступенчатого термического опреснения представляют большой интерес для сегмента установок небольшой производительности (200÷1500 м^3/сут) с целью децентрализированного водоснабжения отдельных потребителей. Однако, эта технология характеризуются низкой эффективностью из-за высоких тепловых затрат и капиталоемкости. Интегрирование абсорбционных тепловых насосов в эти системы позволяет существенно повысить энергетическую эффективность технологии. Установлено, что при этом удельный расход тепловой энергии снижается на 60÷70% по сравнению с обычной технологией.

2. Предварительное нанофильтрационное умягчение морской воды позволяет исключить опасность выпадения накипи $CaSO_4$ и путем организации процесса термической дистилляции в области более высоких температур (120÷130^{0}C), а также кратностей упаривания (6÷8) обеспечить высокие значения степени конверсии дистиллята относительно питательной воды (до 90%), существенно снизить не только удельный расход тепла, но и, примерно в 2 раза, удельную поверхность нагрева, соответственно – капитальные затраты. Более строгое определение наиболее выгодных условий организации процесса термического опреснения может быть проведено на основании оптимизационных расчетов по такому критерию, как себестоимость или удельные приведенные затраты опресненной воды.

3. Большой интерес представляет использование продуктов сгорания дизельных электростанций модульного типа в качестве движущей энергии абсорбционного теплового насоса. На примере Сангачальской станции показано, что утилизация бросового тепла 12-ти модулей позволит обеспечить выработку до 7 тыс. м^3/сутки дешевого дистиллята, одновременно исключит экологический ущерб, наносимый окружающей среде.

4. В развитие настоящих исследований представляет большой интерес разработка гибридной системы опреснения, основанной на абсорбционном термическом опреснении с утилизацией тепла охлаждающей воды методом мембранной дистилляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.H.M. Saadat, Md. Saiful Islam, Parvin Fahmidd, Ayesha Saltan. Desalination Technologies for Devalopment Contries: A Review. Journal of Scientific Research, 2018,10(1),77-97.

2. Фейзиев Г.К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. Изд. 2-е, «Тахсил» ТПП, 2009, 442 с.

3. Faisal Al-Juwayhel, Hisham El-Dessouky H.T., Ettouney H.M. Analysis of single-effect evaporator desalination systems comdined with vapor compression heat pumps/ Desalination 114(1997)253-275.

4.Younes Ghalavand, Amir Rahimi, Mohammad S. Hatamipour. A review on energy consumption of desalination processes. Desalination and water treatment, (2014),1-16.
5. El-Dessouky H.T., Ettouney H.M. Fundamentals of Salt Water. Desalination ELSEVER, Amsterdam, Tokio, 2002, p.691.
6. Chennan Li. Innovative Desalination Systems. Graduate Theses and Dissertations, University of South Florida, 2012,p.196.
7. Kiyan Parhan, MortazaYari, Ugur Atikol. Alternative absorbtion heat transformer configurations integrated with water desalination system. Desalination 328(2013)74-82.
8. ROSA Membrane Projection Software. www.desalitech.com
9. Yongqing Wang, Noam Lior. Thermodinamic analysis of a low-temperature multi-effect thermal desalination system coupled with an absorbtion heat pump, Energy 36(2011)3878-3887.
10. Абдуллаев К.М., Мамедбекова Р.Г., Агамалиев М.М., Ахмедова Д.А. Технология совместной выработки электроэнергии и опресненной воды на базе дизельных электростанций. Проблемы энергетики, №2, 2017, Баку, ELM, стр. 38-49.
11. Александров А.А.,Григорьев Б.А. Справочные таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. Москва, МЭИ, 1999,156с.
12. Enrico Drili, Aamer Ali, Francesce Macedonio. Membrane distillation:Recent developments and perspectives. Desalination 356(2015)56-84.

XÜLASƏ

Absorbsiya istilik nasosu – dəniz suyunun termiki şirinləşdirmə texnologiyasının səmərəliliyinin artırılması vasitəsi kimi

C.A.Əhmədova, M.M.Ağamalıyev, R.H.Məmmədbəyova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Şirin suyun çatışmazlığı dəniz sularının şirinləşdirilməsini aktuallaşdırır. Mövcud şirinləşdirmə texnologiyaları yüksək xərclərlə xarakterizə olunur, xüsusən termiki şirinləşdirmə texnologiyası. Məqalədə Xəzər dənizi suyunun misalında, LiBr-lu absorbsiya istilik nasosunun termiki şirinləşdirmə sisteminə qoşulmasının, eləcədə distillyasuya prosesinin yüksək qaynama temperaturu və buxalanma misli şəraitində aparılmasının şirinləşdirmə prosesinin səmərəliliyinə təsiri məsələlərinə baxılır. Yaranan $CaSO_4$ ərpinin qarşısının alınması üçün dəniz suyunun öncə nanosüzülmə üsulu ilə yumşaldılması təklif olunur.

Sistemin riyazi modeli gətirilir və onun kompüter simulyasiyasının nəticələri təhlil edilir. Əsaslandırılır ki, adi şirinləşdirmə texnologiyasına nisbətən, absorbsiya istilik nasosunun istifadə edilməsi istilik sərfini 60÷70% , xüsusi istilik mübadilə səthini 2 dəfəyədək azaldır. Bunun üçün termiki distillyasiya

prosesini 120÷130^{0}C və buxarlanma mislinin 8÷10 qiymətlərində aparılması təklif olunur. Sənqaçal dizel elektrik stansiyanın misalında göstərilir ki, hal-hazırda istismar edilən dənizkənarı modul tipli elektrik stansiyalarının tullantı istiliyinin istifadəsi ilə kiçik xərclə distillyatın alınması təmin oluna bilər, eyni zamanda ətraf mühitin istilik çirklənməsi aradan qaldırılar.

Açar sözlər: termiki şirinləşdirmə; absorbsiya istilik nasosu; kombinələşdirmə; nanosüzülməli yumşaldılma; effektivliyin artırılması.

ABSTRACT

Absorption heat pump - as means of increasing efficiency of seawater thermal desalination technology

J.A.Ahmadova, M.M.Agamaliyev, R.H.Mammadbayova
Azerbaijan State Oil and Industry University

Deficiency of fresh water makes desalination of sea water relevant. Existing desalination technologies are highly expensive, especially thermal desalination technology. In the article, on the example of Caspian Sea water, issues of thermal desalination process efficiency increase by integration of LiBr absorption heat pump into the system, as well as organization of distillation process in the field of high temperatures and evaporation multiples are considered. The emerging problem of $CaSO_4$ scale prevention is proposed to be solved by pre-filtration nanofiltration softening.

The mathematical model of the system and results of computer simulation of this model are given. The possibility of reduction of thermal expenses by 60÷70 % and specific surface of heating up to 2 times in comparison with usual technology of thermal desalting is grounded. For this purpose thermal distillation process is proposed to be carried out in the area of boiling temperatures 120÷130^{0}C, evaporation multiples 8÷10. By the example of Sangachal diesel power station it is shown that by utilization of waste heat of the station it is possible to obtain cheap distillate and protect the environment from thermal pollution.

Keywords: thermal desalination; absorption heat pump; integration; nanofiltration softening; efficiency improvement.

Посвящается 100-нему юбилею Азербайджанского
Государственного Университета Нефти и Промышленности



Агамалиев Мухтар Мамед оглы – д.т.н., профессор. В 1970 году закончил Азербайджанский Институт Нефти и Химии им Азизбекова по специальности «Инженер-теплоэнергетик». В 2003 году защитил докторскую диссертацию на тему «Разработка экологически совершенных технологий опреснения и многоцелевого использования минерализованных вод в промышленности». В настоящее время является профессором кафедры «Технологии производства энергии» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Электр. почта: agamaliyevm@mail.ru



Мамедбекова Рахиля Гасан гызы – к.т.н., доцент. В 1970 году закончила Азербайджанский Институт Нефти и Химии им Азизбекова по специальности «Технология электрохимических процессов». В 1989 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Разработка технологии комплексной переработки морской воды». В настоящее время является доцентом кафедры «Технологии производства энергии» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Электр. почта: mamedbekovar@mail.ru



Ахмедова Джахан Ариф гызы – д.ф.н. по технике, ассистент. В 1999 году закончила Азербайджанскую Государственную Нефтяную Академию по специальности «Промышленная теплоэнергетика». В 2015 году защитила диссертацию на доктора философских наук по технике на тему «Разработка комбинированных технологий опреснения минерализованных вод с использованием бросового тепла дизельных электростанций». В настоящее время является ассистентом кафедры «Технологии производства энергии» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Электр. почта: ahmedova_cahan1975@mail.ru

MANCANAQ DƏZGAHI QURĞUSUNUN ELEMENTLƏRİNDƏ GEDƏN DİNAMİKİ VƏ ENERGETİK PROSESLƏRİN TƏDQİQİ.

ƏKBƏROV Y.S.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti.
Mobil: +994503536655, e-mail yasar_akberov@inbox.ru

XÜLASƏ

Mancanaq dəzgahı qurğusunun elementlərində gedən dinamiki və energetik proseslərin tədqiqi üçün asinxron mühərrikli elektrik intiqalının riyazi modelləşdirilməsi araşdırılmışdır. Asinxron mühərriklərinin idarəetmə metodları müasir tezlik çeviricilərinin təkmilləşdirilməsinə görə daha da intensiv inkişaf yolunu tapmaqdadır. Bu idarəetmə metodlarının neçə vaxtdır mövcud olmasına baxmayaraq onların daima təkmilləşdirilməsi və müxtəlif paketlərdə modelləşdirilməsi tələb olunur.

Açar sözlər: Mancanaq dəzgahı, asinxron mühərrikl, elektrik intiqalı, tezlik çeviricisi

АННОТАЦИЯ

ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ СТАНКА КАЧАЛКИ

Для исследования динамических и энергетических процессов в элементах станка качалки было проведено математическое моделирование асинхронного двигателя электропривода. Способы управления асинхронными двигателями находят все более интенсивное развитие в связи с совершенствованием современных преобразователей частоты. Хотя эти методы управления существуют уже давно, их необходимо постоянно улучшать и моделировать в различных пакетах.

Ключевые слова: станка качалка, асинхронный двигатель, электропривод, преобразователь частоты

ABSTRACT

RESEARCH OF DYNAMICS AND ENERGY PROCESSES IN THE ELEMENTS OF THE ROCKER MACHINE

To study the dynamic and energy processes in the elements of the rocker machıne, mathematical modeling of the asynchronous motor of the electric drive was carried out. Methods for controlling asynchronous motors are increasingly being developed in connection with the improvement of modern frequency converters. Although these management techniques have been around for a long time, they need to be continually improved and modeled in various packages.

Key words: rocking machine, asynchronous motor, electric drive, frequency converter

GİRİŞ

Mancanaq dəzgahı qurğusunun elementlərində gedən dinamiki və energetik proseslərin tədqiqi üçün elektrik intiqalı – mancanaq dəzgahı (Eİ-MD) sisteminin riyazi modelləşdirilməsini araşdırmaq lazımdır [4].

Son illərdə güc elektronikası və mikroprosessor texnikasının inkişafı ilə dəyişən cərəyan elektrik intiqalları daha çox inkişaf etməyə başladı. Tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalları (TTEİ) çox baha olduqlarına görə, onları son 10-15 ilə qədər tətbiq etmək sərf etmirdi. Hal hazırda q.q.rotorlu asinxron mühərrikləri etibarlılığına və sadə konstruksiyaya malik olmalarına görə istehsalatın bütün sahələrində istifadə olunur. Asinxron mühərriklərinin idarəetmə metodları müasir tezlik çeviricilərinin təkmilləşdirilməsinə görə daha da intensiv inkişaf yolunu tapmaqdadır. Müxtəlif idarəetmə metodlarının tətbiq olunmasından asılı olaraq elektrik intiqalları enerji tələbatına, dinamikasına, diapazonuna və tənzimolma dəqiqliyinə görə müxtəlif xüsusiyyətli olurlar. Bu idarəetmə metodlarının neçə vaxtdır mövcud olmasına baxmayaraq onların daima təkmilləşdirilməsi və müxtəlif paketlərdə modelləşdirilməsi tələb olunur. Bütün bunları nəzərə alaraq asinxron mühhərrikin Matlab/Simulink proqramında modelləşdirilməsi və asinxron mühərrik- mancanaq dəzgahı sistemində gedən dinamiki və energetik proseslər tədqiq edilməsi qarşıya məqsəd qoyulmuşdur.

Asynchronous Machine blokunda asinxron mühərrikini həm generator və həm də mühərrik rejimində modelləşdirmək mümkündür. Mühərrikin elektromaqnit momentinin işarəsinə görə iş rejimi təyin olunur [1, 2].

A, B, C portları mühərrikin stator dolaqlarının çıxışlarını, T_m -işarəsi müqavimət momentinin çıxışını göstərir. Mühərrikin "m" portunda isə vektor siqnalları formalaşır ki, bu da 21 elementi özündə cəmləşdirir: rotorun və statorun hərəkətsiz və fırlanan koordinat sistemlərdə cərəyan, sel, gərginlikləri, elektromaqnit momenti, fırlanan valın bucaq tezliyini, onun bucaq vəziyyətini və s. Mühərrikin kəmiyyətlərini Sim Power Sistems kitabxanasında təhlil etmək üçün Machines Measurement Demux blokundan istifadə olunur. Asinxron mühərrikin modeli onun elektrik hissəsinin və mexaniki hissəsinin modellərini özündə cəmləşdirə bilir. Mühərrikin bütün elektrik dəyişənləri və parametrləri onun statoruna gətirilir. Mühərrikin elektrik hissəsinin ilkin tənlikləri iki fazlı (d-q oxlarında) koordinat sistemində yazılır.[2, 4]

Mühərrikin parametrlərini hesablamaq üçün ilkin verilənlər aşağıdakılardır:

P_n =4kw – nominal güc;

U_n =380v – nominal xətti gərginlik;

f_1 =50hs – şəbəkə tezliyi;

n_n =1440dövr\dəq – valın nominal fırlanan bucaq tezliyi;

P =2 – cüt qütblər sayı;

η =85,5% - f.i.ə.;

Cosφ =0,84;

I_n =8,5A – statorun nominal cərəyanı;

$k_1 = {}^{I_{ib}}/_{I_n} = 6,5$ – işəburaxma cərəyanının dəfəliyi;

$m_{ib} = {}^{M_{ib}}/_{M_n} = 2,2$ – işəburaxma momentinin dəfəliyi;

$m_{max} = {}^{M_{max}}/_{M_n} = 2,9$ – maksimal momentin dəfəliyi;

J = 0,0103 kqm^2 - ətalət momenti;

Mühərrikin parametrlərinin hesabatını aşağıdakı kimi hesablaya bilərik.

Dolaqların "ulduz" birləşməsi zamanı nominal faza gərginliyi belə hesablanır:

$$U = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 219,63\ v$$

Maqnit sahəsinin fırlanma tezliyi (sinxron fırlanma tezliyi) belə hesablanır:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = \frac{3000}{2} = 1500 \ ^{dövr}/_{dəq};$$

Nominal sürüşmə:

$$s_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1} = \frac{1500 - 1440}{1500} = \frac{60}{1500} = 0{,}046 \ \ o.e$$

Kritik sürüşmə:

$$s_{kr} = s_n \cdot \left(m_{max} + \sqrt{m_{max}^2 - 1}\right) = 0{,}046 \cdot (2{,}9 + \sqrt{2{,}9^2 - 1} =$$
$$= 0{,}04 \cdot (2{,}9 + 2{,}72) = 0{,}046 \cdot 13{,}01 = 0{,}6 \ \ o.e$$

Maqnit sahəsinin fırlanman bucaq tezliyi (sinxron tezlik) belə tapılır:

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50}{2} = 157 \ ^{rad}/_{s}$$

Valın fırlanan nominal bucaq tezliyi:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 1440}{2} = 149{,}73 \ \ ^{rad}/_{s}$$

Nominal moment:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{4000}{149{,}73} = 26{,}71 \ \ N \cdot m$$

Maksimal moment:

$$M_{max} = m_{max} \cdot M_n = 2{,}9 \cdot 26{,}71 = 77{,}46 \ \ N \cdot m$$

İşəburaxma moment:

$$M_{i.b} = m_{i.b} \cdot M_n = 2{,}2 \cdot 26{,}71 = 58{,}76 \ \ N \cdot m$$

Mexaniki itkilər:

$$P_{mex} = (0{,}01 \div 0{,}05)P_n = 0{,}05 \cdot 4000 = 200 \ vt$$

Hesabi əmsal C=(1,01+1,05) aralığında olmalıdır.

Rotorun aktiv müqaviməti:

$$R_r = \frac{1}{3}\frac{P_n + P_{mex}}{I_n^2 \cdot \frac{1 - S_n}{S_n}} = \frac{1}{3}\frac{4000 + 200}{9^2 \cdot \frac{1 - 0{,}046}{0{,}046}} = \frac{1}{3}\frac{4200}{81 \cdot 20{,}74} = \frac{4200}{5039{,}8} = 0{,}83 \ \ \text{Om}$$

Statorun aktiv müqaviməti:

$$R_s = \frac{Ucos\varphi(1 - \eta)}{I_n} - C^2R_r - \frac{P_{mex}}{3 \cdot I_N^2} = \frac{219{,}63 \cdot 0{,}84 \cdot (1 - 0{,}855)}{9} -$$
$$-1{,}05^2 \cdot 0{,}83 - \frac{200}{3 \cdot 9^2} = \frac{184{,}49 \cdot 0{,}145}{9} - 1{,}1 \cdot 0{,}83 - \frac{200}{243} = \qquad = 2{,}97 - 0{,}91 - 0{,}82$$
$$= 2{,}97 - 1{,}73 = 1{,}24 \ \ Om$$

Statorun və rotorun səpələnmə induktivliyi:

$$L_{sr} = L_{rs} = \frac{U}{4\pi f_1(1+C^2)k_1 I_n} = \frac{219,63}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (1+1,05^2) \cdot 6,59} =$$
$$= \frac{219,63}{628 \cdot 2,1 \cdot 6,5 \cdot 9} = \frac{219,63}{77149,8} = 0,0028\ Om$$

Statorun induktiv müqaviməti:

$$L_s = \frac{U}{2\pi f_1 I_n \sqrt{1-cos^2\varphi} - \frac{2}{3}\frac{2\pi f_1 M_{max}}{pU}\frac{s_n}{s_{kr}}} =$$
$$= \frac{219,63}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 9 \sqrt{1-(0,84)^2 - \frac{2}{3}\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 77,46}{2 \cdot 219,63}\frac{0,046}{0,6}}} =$$
$$= \frac{219,63}{2826 \cdot 0,54 - \frac{2}{3} \cdot \frac{24322,4}{439,26} \cdot \frac{0,046}{0,6}} = \frac{219,63}{1526 - \frac{2237,66}{790,66}} =$$
$$= \frac{219,63}{1526 - 2,83} = \frac{219,63}{1523,17} = 0,144\ Om$$

Maqnitlənmə dövrəsinin induktivliyi:

$$L_s = L - L_{sp} = 0,144 - 0,0028 = 0,141\ \ Om$$

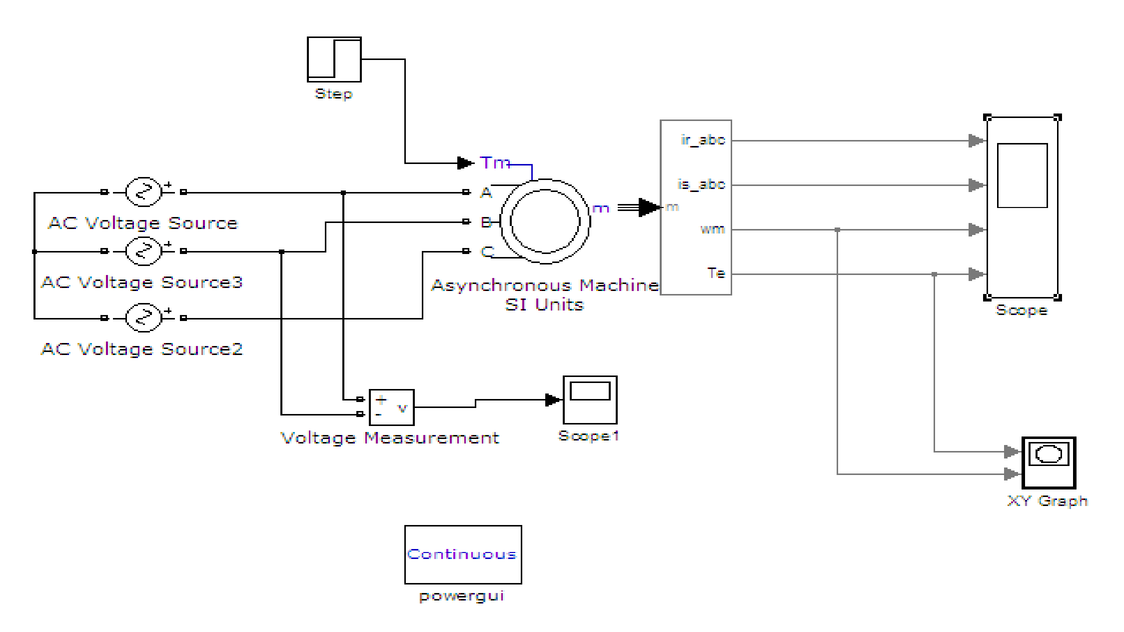
Hesabi əmsalı aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$C_1 = 1 + \frac{L_{sp}}{L_m} = 1 + \frac{0,0028}{0,141} = 1 + 0,019 = 1,019$$

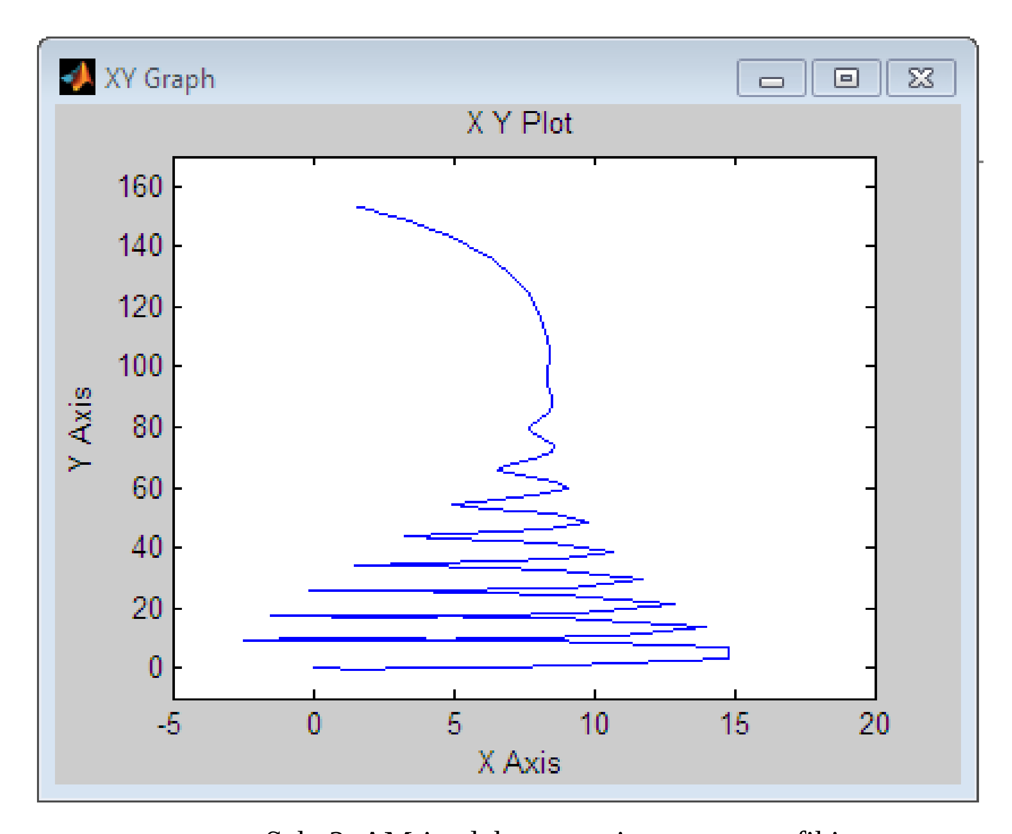
C_1 – in qiyməti C=(1,01÷1,05) aralığındadır, ona görə də bu parametrin qiyməti qəbul olunandır.

Mühərrikin yuxarıdakı parametrlərini hesabladıqdan sonra Matlab\Simulinkdə onun birbaşa işəburaxma modelini qura bilərik (şək.1). Burada asinxron mühərrik olaraq Asynchronous Machine Si Units bloku AC voltage Sourece 3 fazlı gəginlik mənbəyindən qıdalanır. Sxemdə gedən bütün proseslərə nəzarət etmək üçün Continuous powergul blokundan istifadə olunur. Elektromaqnit momentin qiymətlərini tənzimləmək üçün Step bloku, mühərrikə verilən gərginliyin qiymətinə nəzarət etmək, yaxud onu ekranda görmək üçün isə Voltage Measurement və Scope1 blokları tətbiq olunmuşdur. Asinxron mühhərrikinin stator cərəyanının, rotor cərəyanının, sürətinin, elektromaqnit momentinin qiymətlərinin tənzim olunması və qrafiklərinin alınması üçün Demux və Skope bloklarından istifadə olunmuşdur.

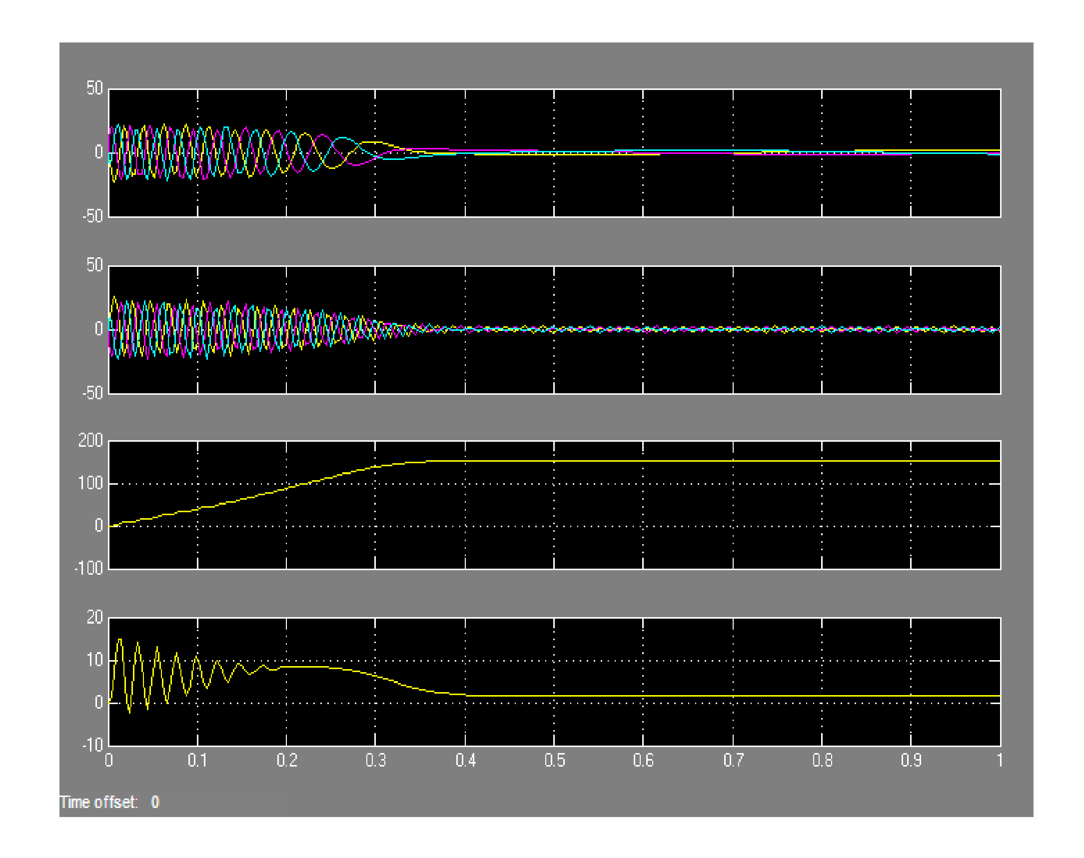
Mühərrikin mexaniki xarakteristikasının qrafikini almaq üçün əlavə XY Graph blokunun tətbiqi tələb olunur (şək.1, 2). Yükü artırdıqdan sonra isə mühərrikin dinamiki mexaniki xarakteristikasının, valın fırlanan bucaq tezliyinin və elektromaqnit momentinin əyrilərini almaq olar (şək. 2, 3).



Şək. 1. AM – nin Matlab/Simulinkdə işə buraxma sxemi.



Şək. 2. AM-in elektromaqnit moment qrafiki.



Şək. 3. AM-in a) stator cərəyanının, b) rotor cərəyanının, c) sürətinin, d) elektromaqnit momentinin qrafikləri.

NƏTİCƏ

Aparılmış hesablamalardan sonra Matlab/Simulinkdə birbaşa işəburaxma prosesi yerinə yetirilmişdir və mühərrikin dinamiki mexaniki xarakteristikasının, fırlanan bucaq tezliyinin və elektromaqnit momentinin əyriləri alınmışdır.

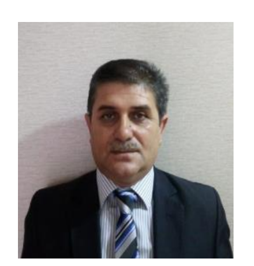
İmitasiya modelinin qurulmasının məqsədi AM-in müxtəlif xarakteriskalarının tez və keyfiyyərli alınması, səlis tənzimlənmənin əldə olunması, keçid proseslərinin təhlili və s. əməliyyatların yerinə yetirilməsinin sadə və əlverişli olmasıdır.

Asinxron mühərrikin riyazi modelinin qurulması, işə salınması və keçid proseslərinin tədqiqi və təhlili, asinxron mühərrikli mancanaq dəzgahının elementlərində baş verən dinamiki və energetik proseslərin araşdırılması və tədqiq olunması imkanlarını verir .

ƏDƏBİYYAT

1. Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в симулинк (Matlab 7.0.1.) Изд.во Томского Политехнического Университета. 2010. – с.254-257.
2. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, Sim Power Sistem, Simulink. – М.: ДМК Пресс; Питер. 2008. – с. 288.
3. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем– СП.: Корона-принт, 2001. – 320 с.

4. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 654 с.
5. Zaafouri, A.; Regaya, C.B.; Azza, H.B.; Châari, A. DSP-based adaptive backstepping using the tracking errors for high-performance sensorless speed control of induction motor drive. ISA Trans. 2016, 60, 333–347.
6. Lokriti, A.; Salhi, I.; Doubabi, S.; Zidani, Y. Induction motor speed drive improvement using fuzzy IP-self-tuning controller, a real time implementation. ISA Trans. 2013, 52, 406–417.



Əkbərov Yaşar Sabir oğlu 1981-ci ildə Azərbaycan Neft və Kimya İnstitunun “Elektromexanika” fakultəsinin “Elektrotermiki qurğular” ixtisasına daxil olmuşdur. 1986-cı ildə həmin fakultəni bitirdikdən sonra təyinatı üzrə Rusiya Federasiyasının Saratov vilayətinin Balakova şəhərində işləmişdir. Hal hazırda Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Elektromexanika” kafedrasında laboratoriya müdiri vəzifəsində çalışır. Sabiq dissertantdır. “Mancanaq dəzgahın tezliklə ıdarə olunan dəyişən cərəyan elektrik intiqalı” mövzusu üzrə elmi işini tamamlamışdır. Mob tel: 994503536655, e-mail yasar_akberov@inbox.ru

Contents